

Einfluß des Ozeans auf die Stratosphäre

Rudolf Deckert

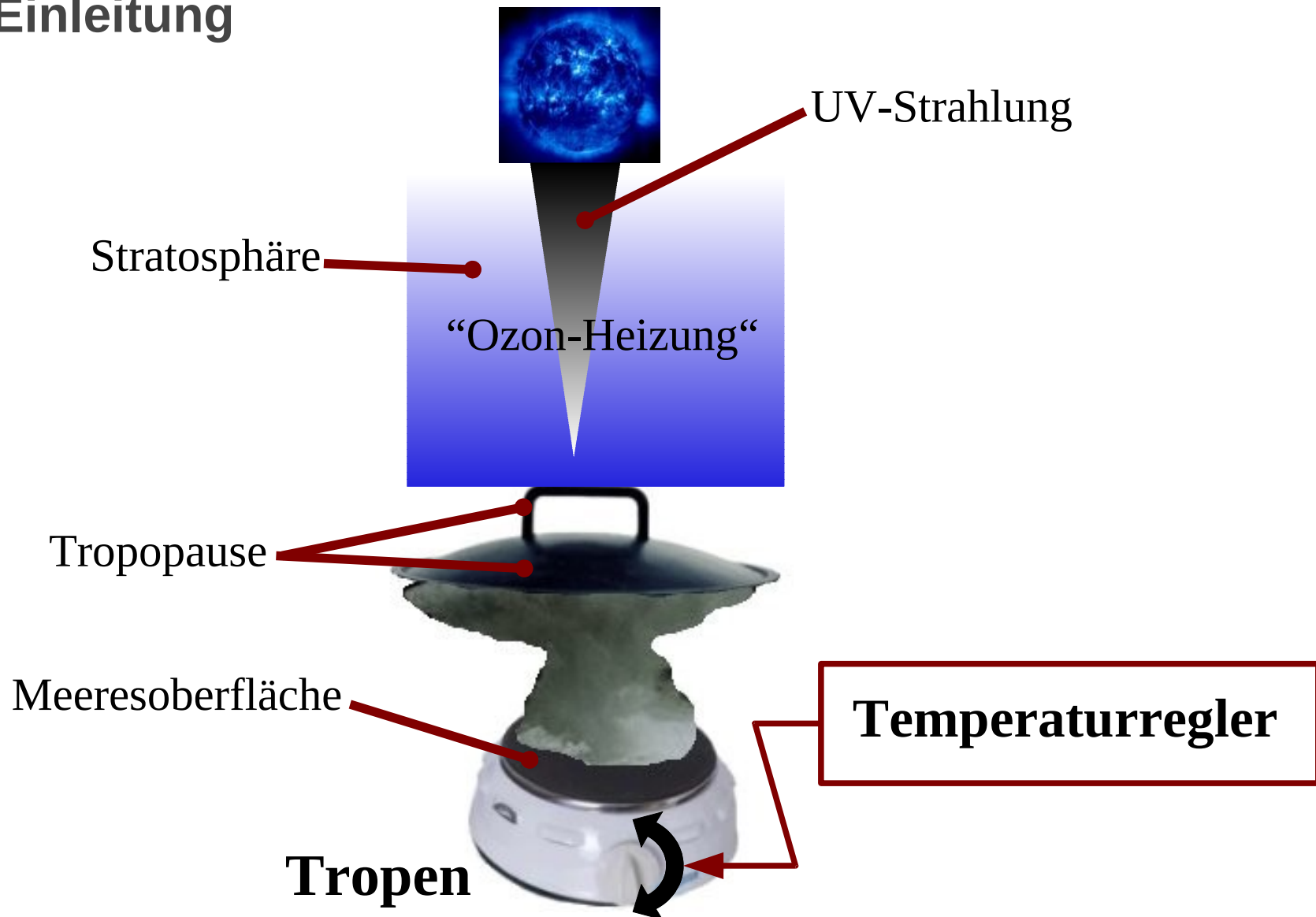
***Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
Institut für Physik der Atmosphäre***



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

München, 27. Januar 2009

Einleitung



Einleitung

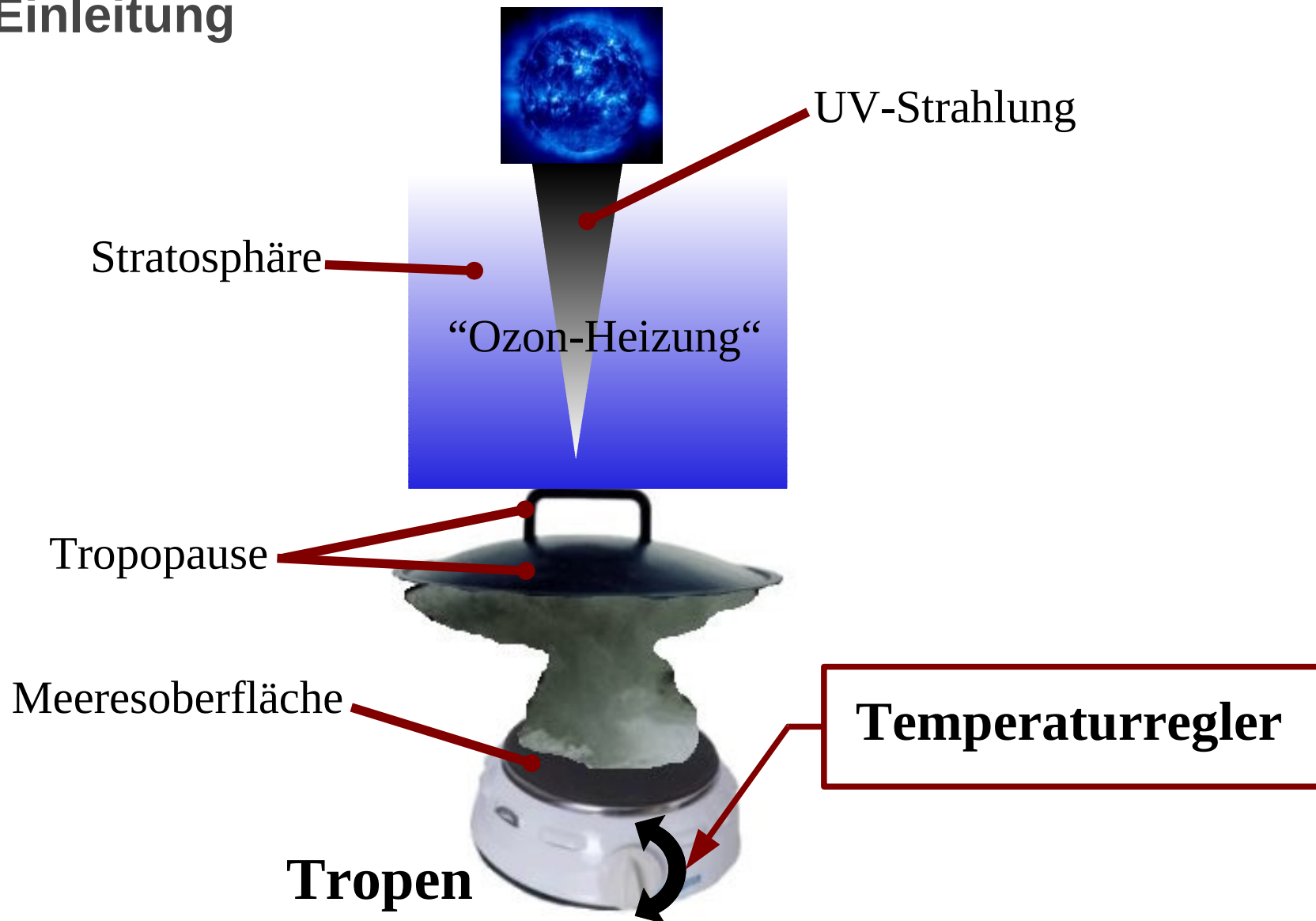
<http://cimss.ssec.wisc.edu>



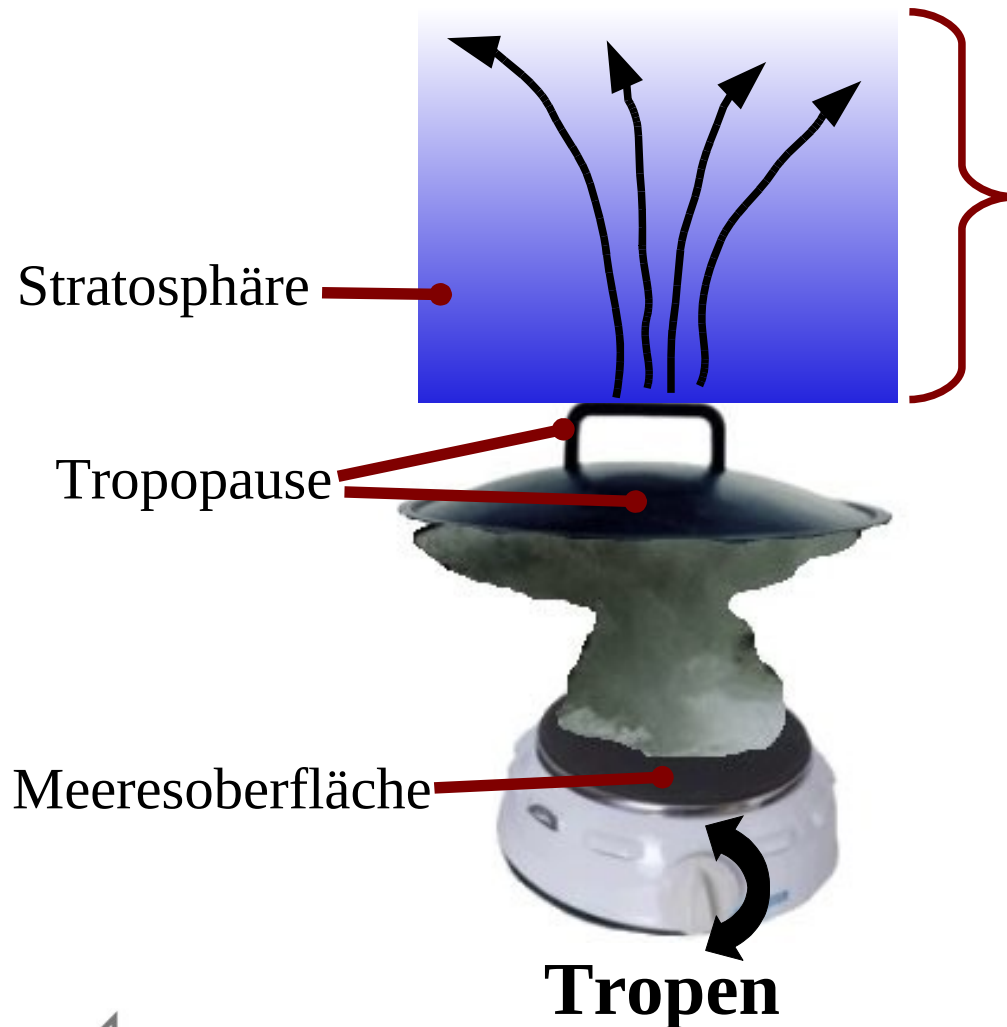
Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Institut für Physik der Atmosphäre

Einleitung



Einleitung



Temperaturregler:
Einfluß auf
stratosphärischen
Massentransport

**Eine weitere Wirkung
der anthropogenen
Erwärmung?**

**Welcher
Mechanismus?**



Gliederung

<http://cimss.ssec.wisc.edu>

- Stratosphärischer Massentransport

- Erläuterung
- Bedeutung
- Antrieb

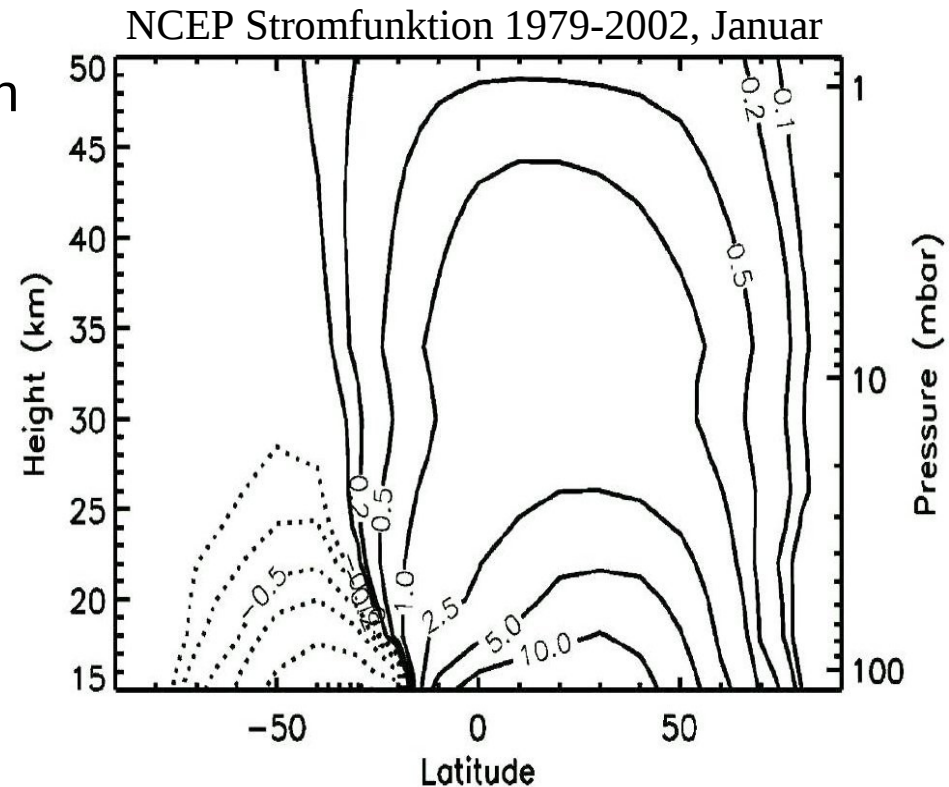
- Veränderung des Massentransports?

- Indizien
- ↔ höhere Temperatur der tropischen Meeresoberfläche



Massentransport: Erläuterung

- In Stratosphäre wenig differenzielles Heizen → wenig Hadley-Massentransport
- Stattdessen: Brewer-Dobson (BD) Zirkulation
 - Darstellung durch Stromfunktion
 - Tropen: Aufsteigen
 - Richtung jeweiligen Winterpol
 - Extratropen: Absinken
 - Umlaufzeit: einige Jahre



Jiang et al. (2004)



Massentransport: Bedeutung

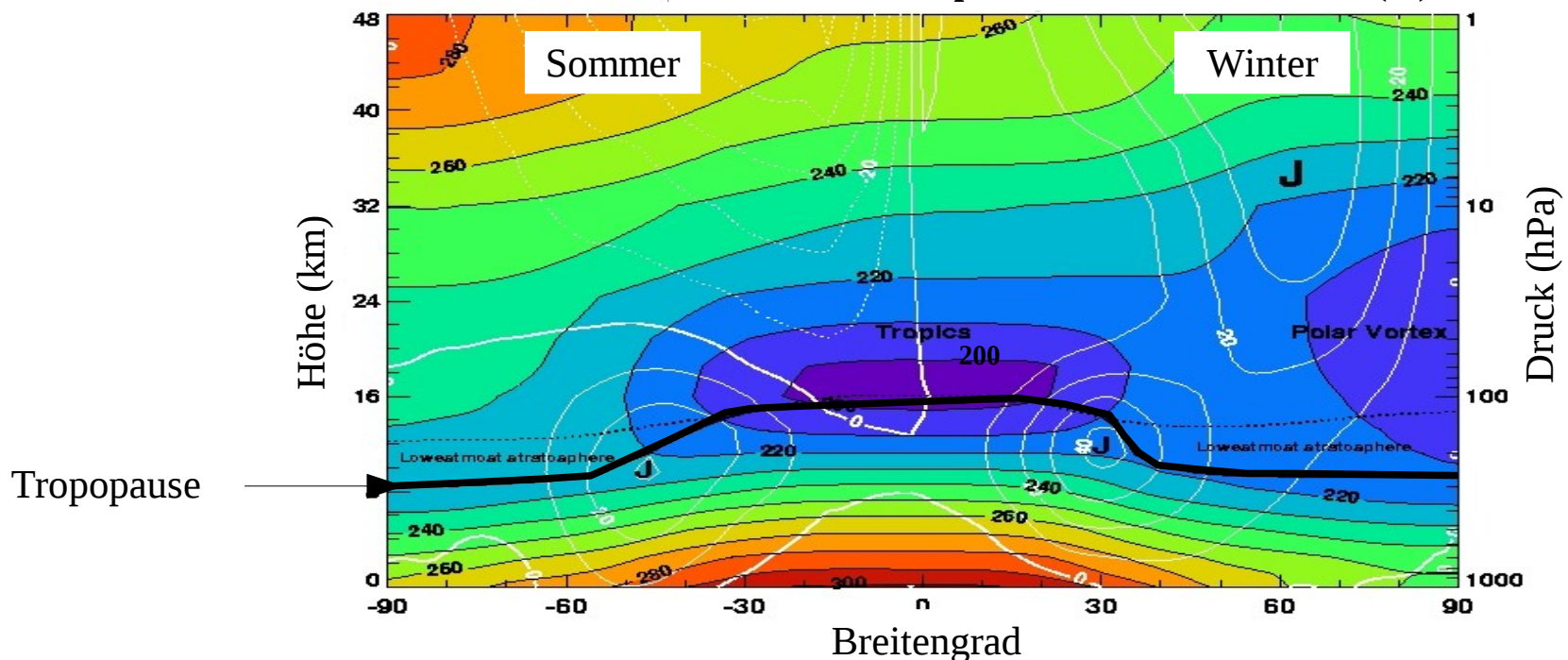
Bedeutung der BD Zirkulation



Massentransport: Bedeutung

- BD Zirkulation treibt stratosphärische Temperatur weg vom Strahlungsgleichgewicht

NCEP Temperatur Januar, 1979-98 (K)



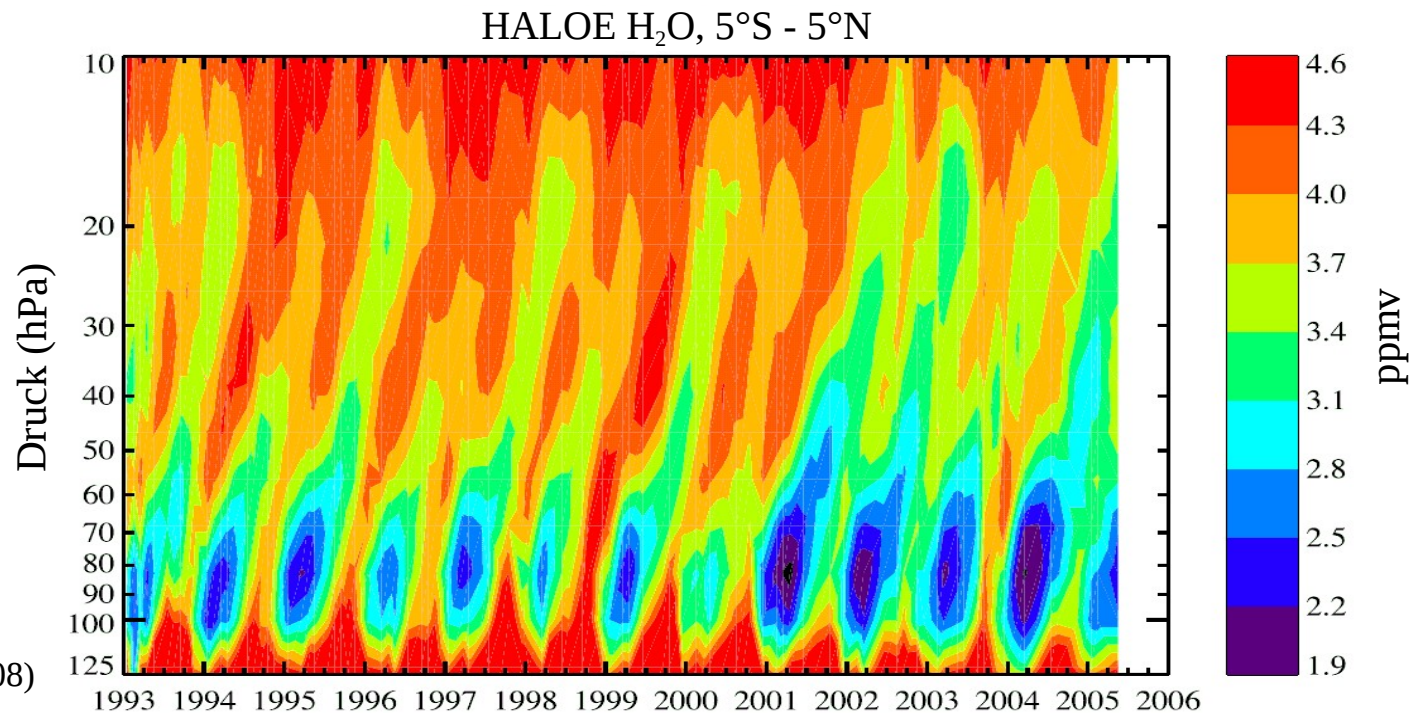
- Dadurch Auswirkung auf Klima bis Erdoberfläche

<http://cloud1.arc.nasa.gov/solve/overview/solve.pr.html>



Massentransport: Bedeutung

- Tropisches Aufsteigen ändert chemische Zusammensetzung der Stratosphäre
 - Gefriertrocknung
 - Eintrag ozonarmer Luftmassen und ozonzerstörender Substanzen



- Extratropisches Absinken erhöht Ozongehalt der Troposphäre





Massentransport: Bedeutung

**BD Zirkulation beeinflußt
Klima und Chemie
von Stratosphäre **und** Troposphäre**





Massentransport: Antrieb

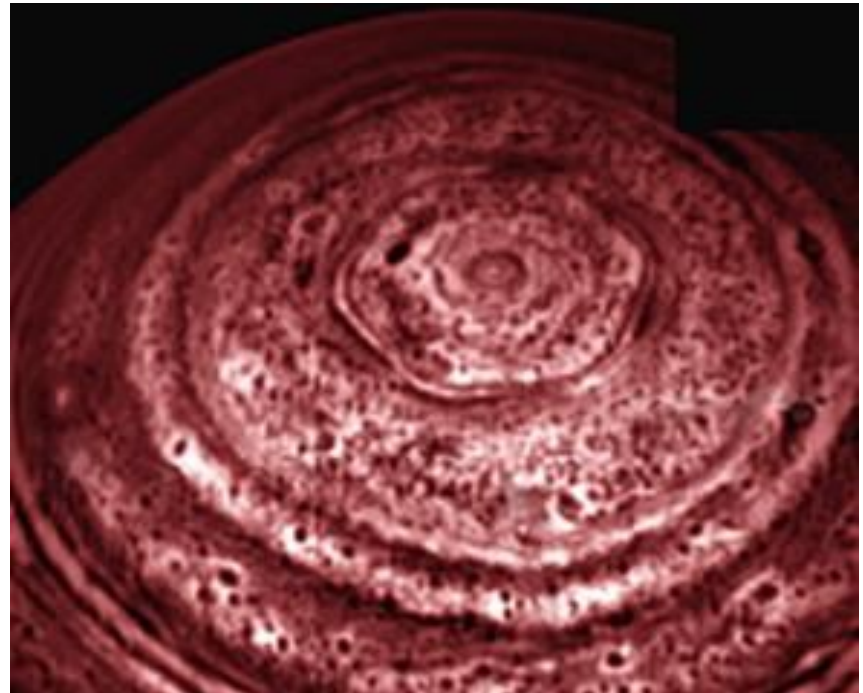
**BD Zirkulation beeinflußt
Klima und Chemie
von Stratosphäre **und** Troposphäre**

Antrieb?



Massentransport: Antrieb

- Wichtigster Antrieb: Dissipation planetarer Wellen in der Stratosphäre
 - Planetare Wellen = Wellen mit 1-3 Trögen um Breitenkreis
 - Extratropen: vor allem Rossby-Wellen
 - Tropen: Rossby-Wellen, Kelvin-Wellen, u.a.
- Weniger wichtig für stratosphärische BD Zirkulation
 - Synoptische Wellen
 - Schwerewellen



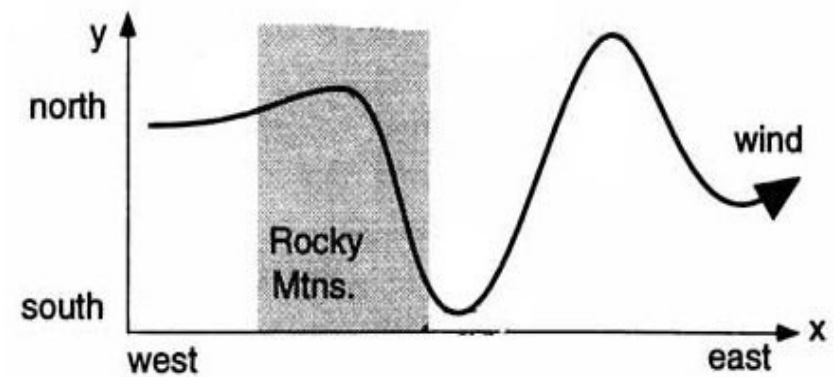
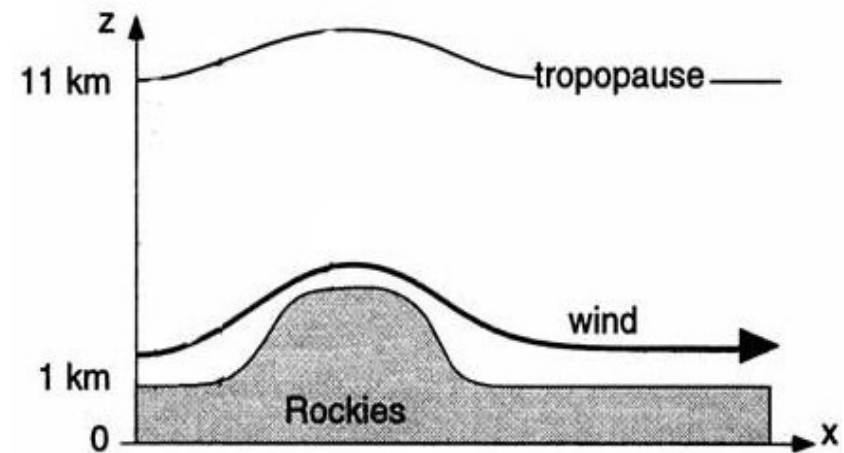
NASA



Massentransport: Antrieb

Planetare Wellen entstehen in der Troposphäre z.B. durch

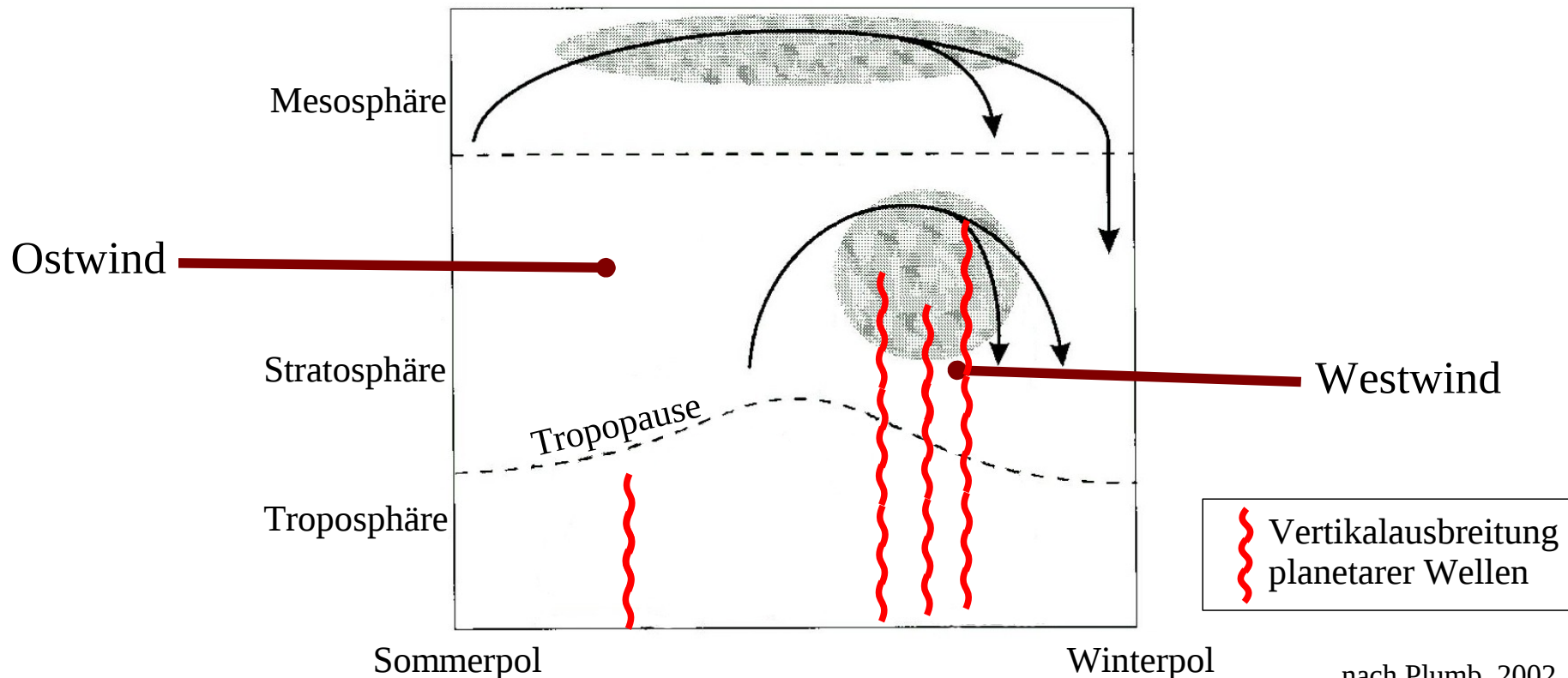
- Überströmung von Gebirgen
- Tropische Konvektion
- Instabilität und andere nichtlineare Effekte
- Temperaturkontrast Ozean-Kontinente



Massentransport: Antrieb

Vertikalausbreitung planetarer Wellen

- U.a. abhängig vom Grundstrom
- → extratropische Stratosphäre: planetare Wellen nur im Winter



nach Plumb, 2002

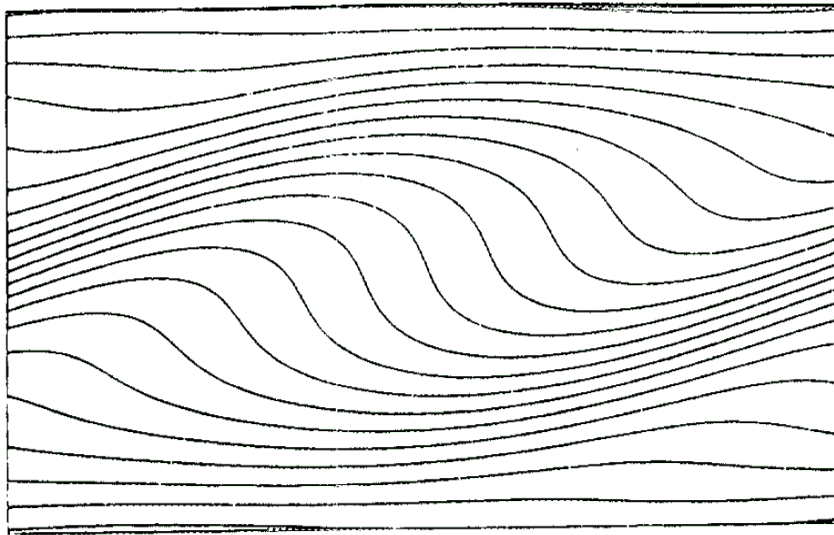
Massentransport: Antrieb

Dissipation planetarer Wellen durch

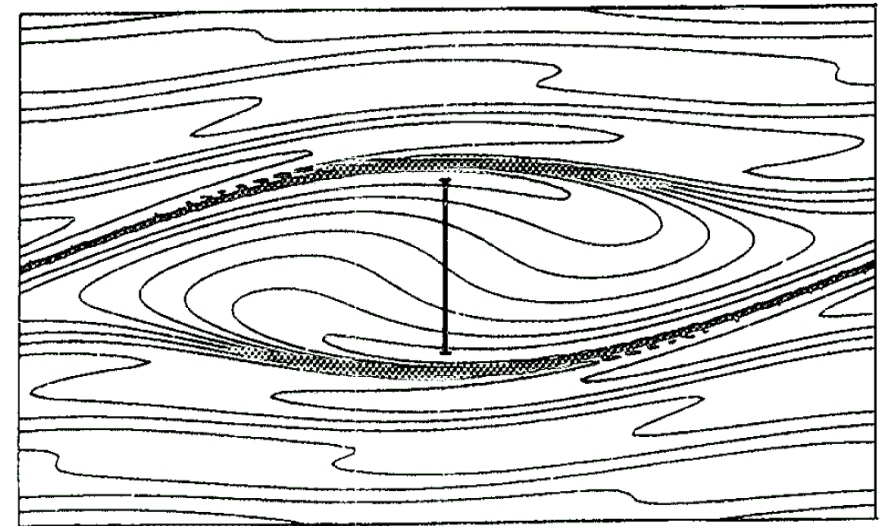
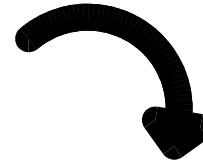
- Wellenbrechen
- Strahlungsrelaxation
- Reibung



Breite



► Länge



McIntyre (1998)



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

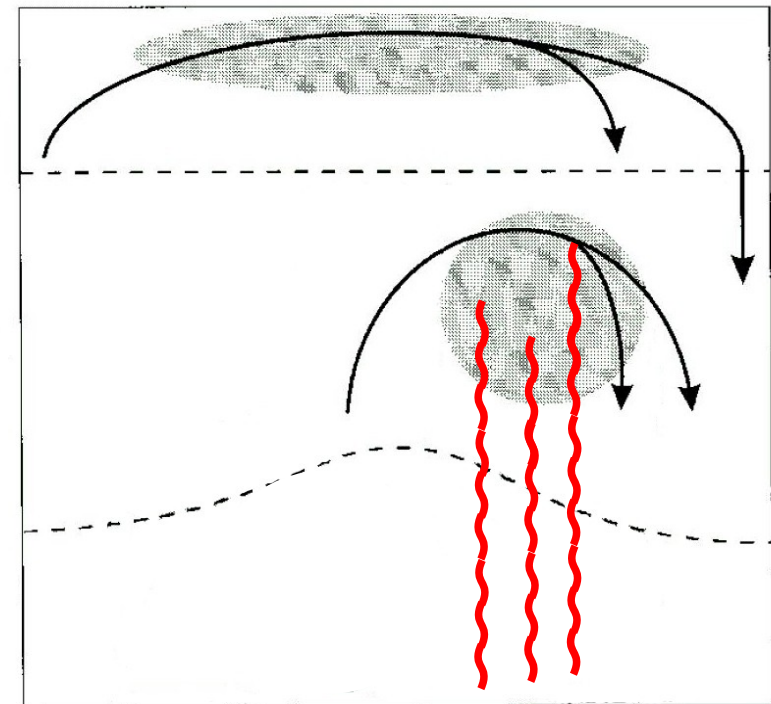
Institut für Physik der Atmosphäre

Massentransport: Antrieb

Wellendissipation

- Impulserhaltung = Abbremsung Grundstrom
- Drehimpulserhaltung = Pumpen von Luftmassen polwärts
- Massenkontinuität = Fortsetzung nach unten

BD Zirkulation entsteht durch troposphärische Fernwirkung über planetare Wellen



Sommerpol

Winterpol





Veränderung: Indizien

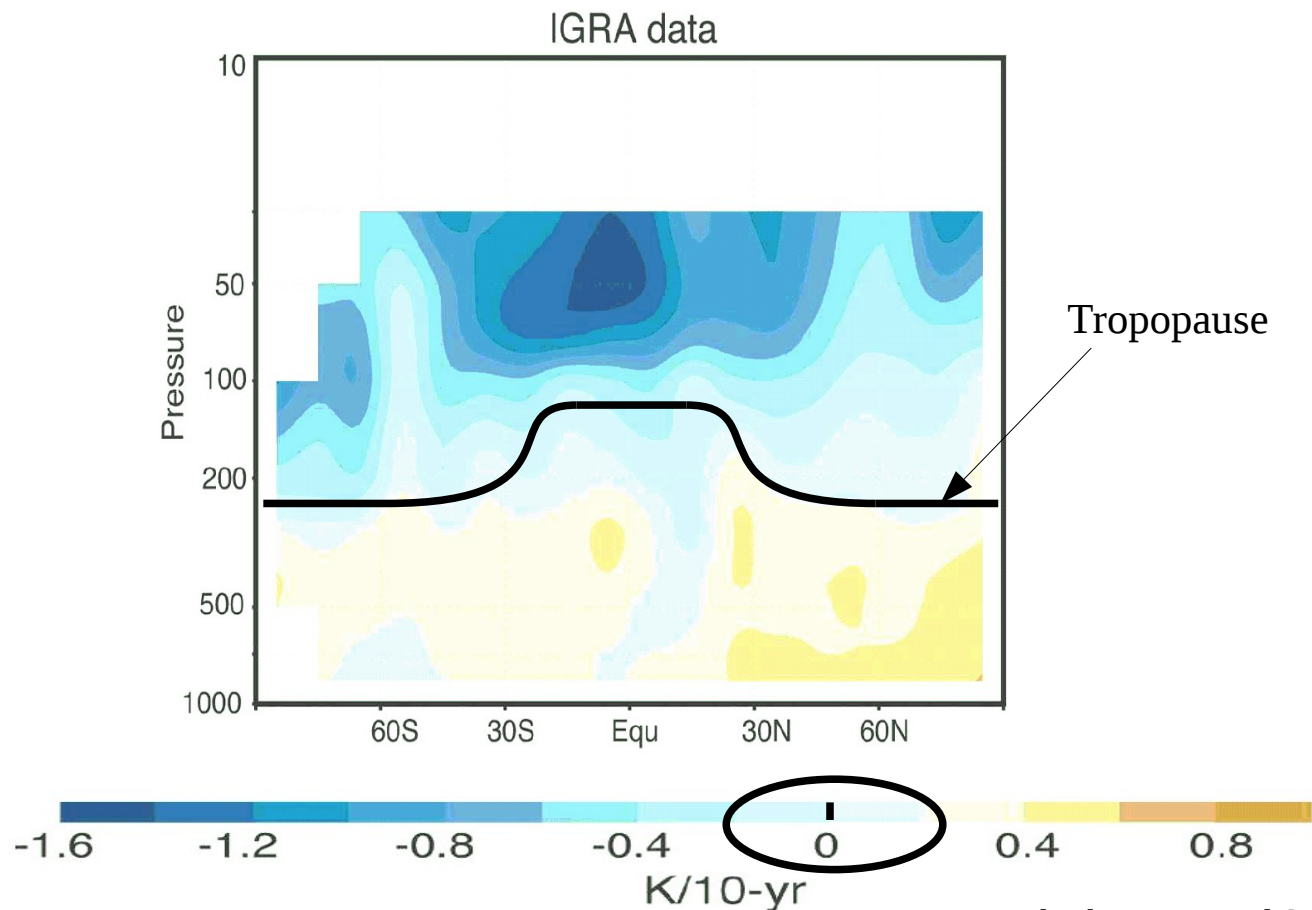
Verändert sich die BD Zirkulation?

Betrachte
Temperatur und Ozonkonzentrationen



Veränderung: Indizien

Temperatur: Radiosonden, Trend 1979-2003 (Jahresmittel)

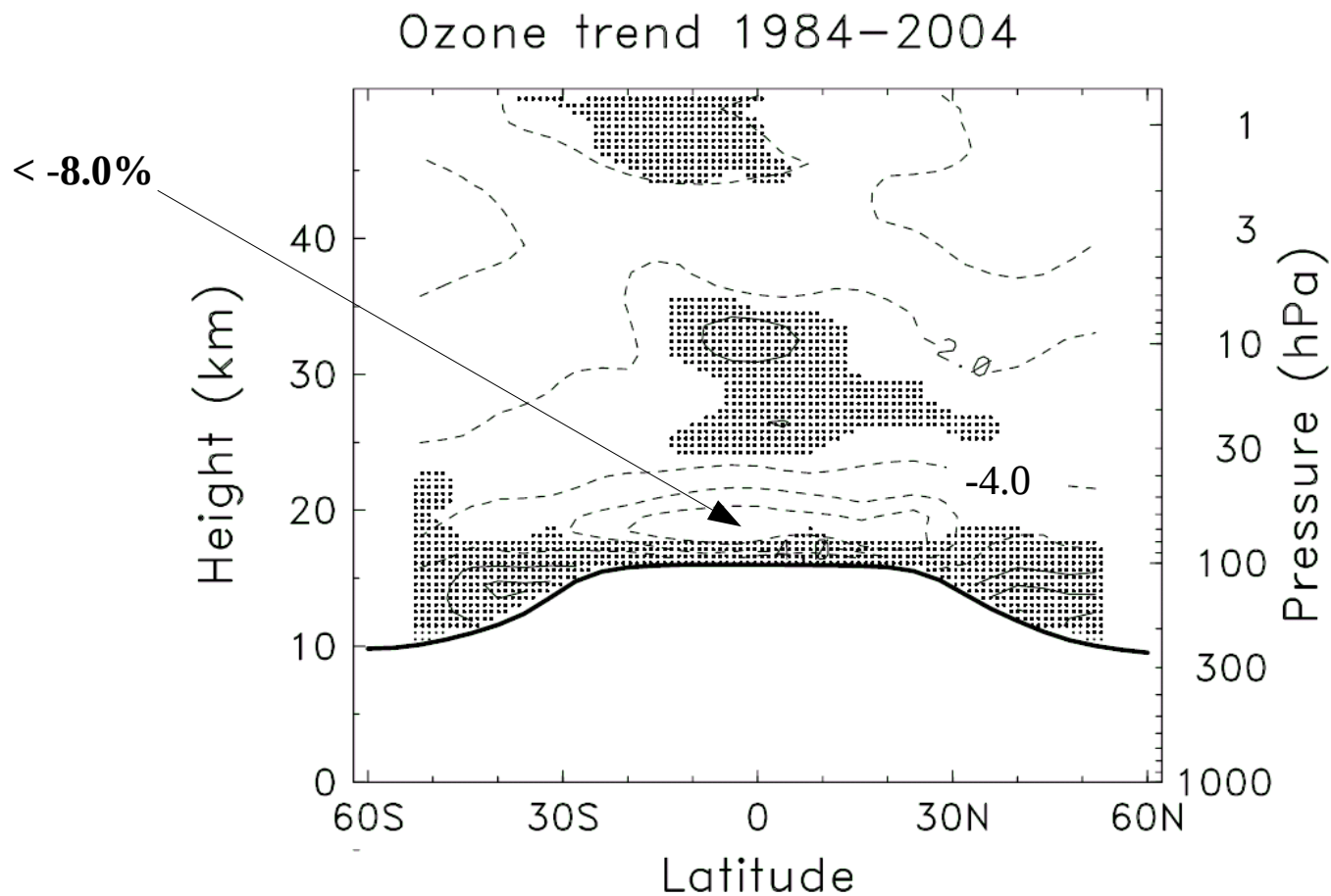


nach Thompson and Solomon, 2005



Veränderung: Indizien

Ozon: Satellitendaten (SAGE)



Randel et al. (2006)





Veränderung: Indizien

- Veränderungen in Temperatur und Ozonkonzentrationen lassen vermuten
 - Intensiviertes Aufsteigen
 - In tropischer unterer Stratosphäre
- Veränderungen nicht unumstritten
 - Interannuale Variabilität
 - Datenqualität in tropischer unterer Stratosphäre
- Direkter Nachweis sehr schwierig

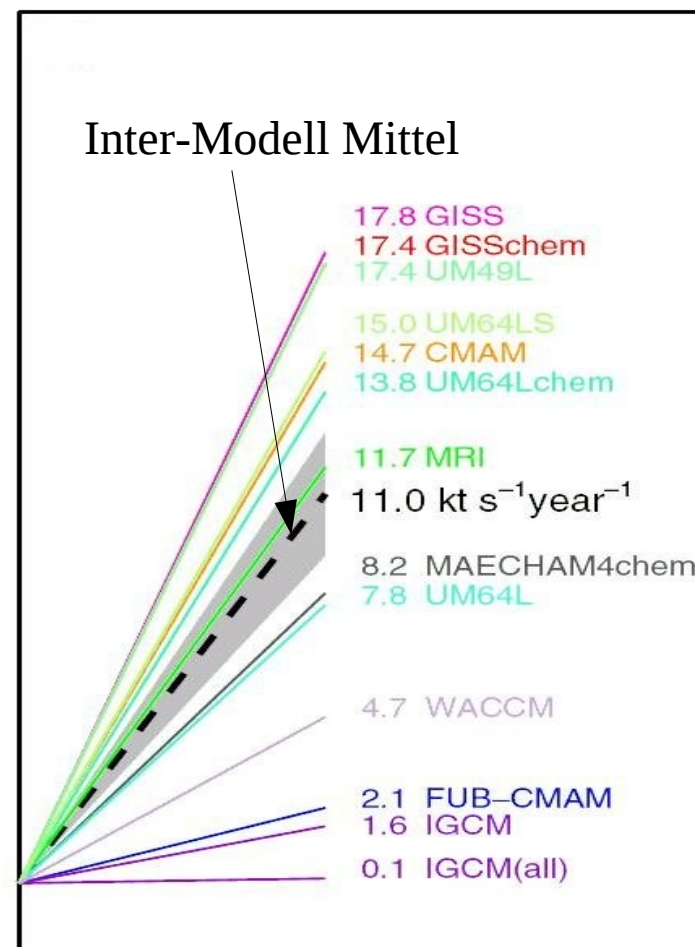
Was sagen numerische Modelle?



Veränderung: Indizien

- Butchart et al. (2006):
 - Zehn verschiedene globale Zirkulationsmodelle
 - Wärmer ↔ kälter
- Stärkeres tropisches Aufsteigen im wärmeren Klima
 - Wie fast alle ähnlichen Studien
 - Hauptgrund: stärkere Dissipation planetarer Wellen
 - **Ursache nicht bekannt!**

Änderung tropischen Aufstiegs bei 70hPa
Jahresmittel (in kt/s/Jahr)



Butchart et al. (2006)



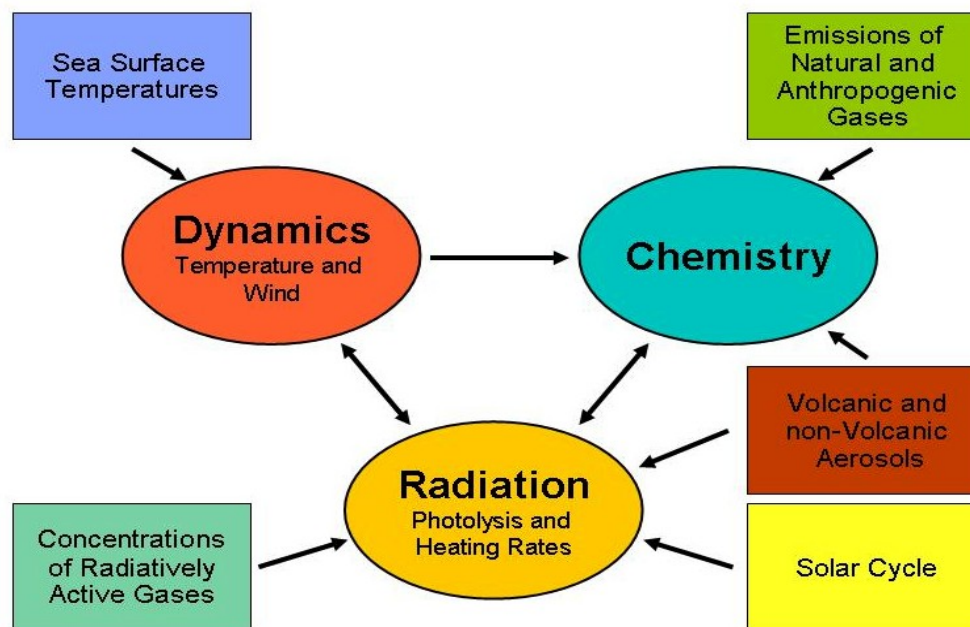
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

→ meine Arbeit



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

- Klima-Chemie Modell ECHAM39/CHEM (E39/C)
 - Multi-dekadische transiente Simulationen
 - Dynamik und Chemie voll gekoppelt über Strahlung
- E39/C für meine Fragestellungen geeignet



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

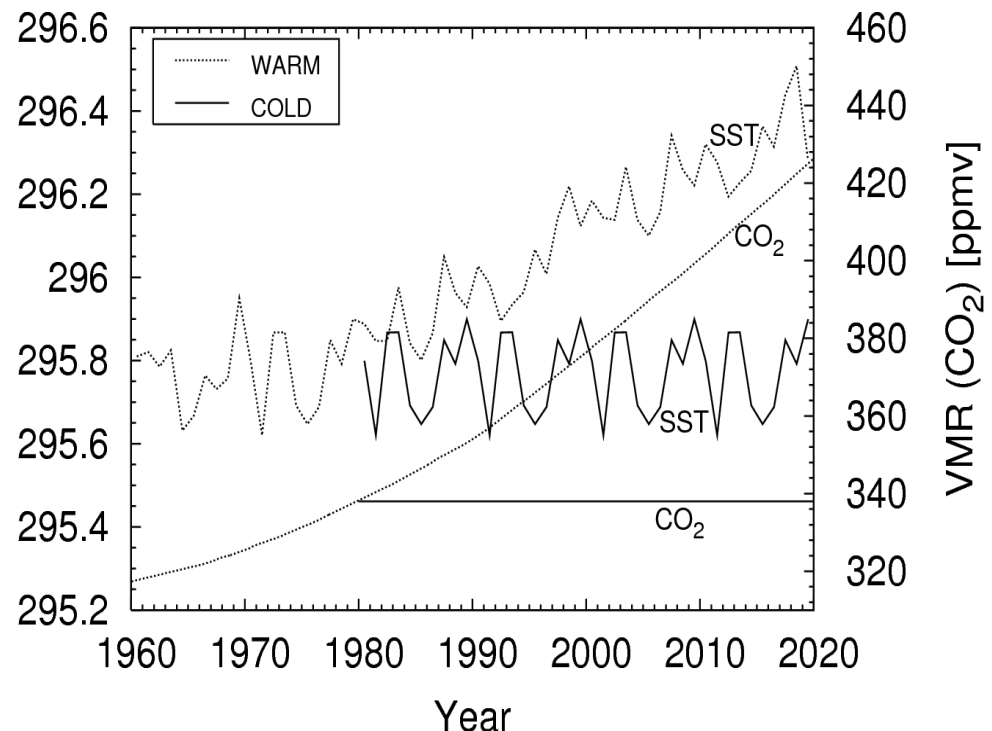
Wärmeres Szenario (3x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase nach A1b in IPCC (2001)
- Temp. Meeresoberfläche ebenso

Kälteres Szenario (2x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase auf 1980
- Temp. Meeresoberfläche von 1970 bis 1979 zyklisch wiederholt

T [K]



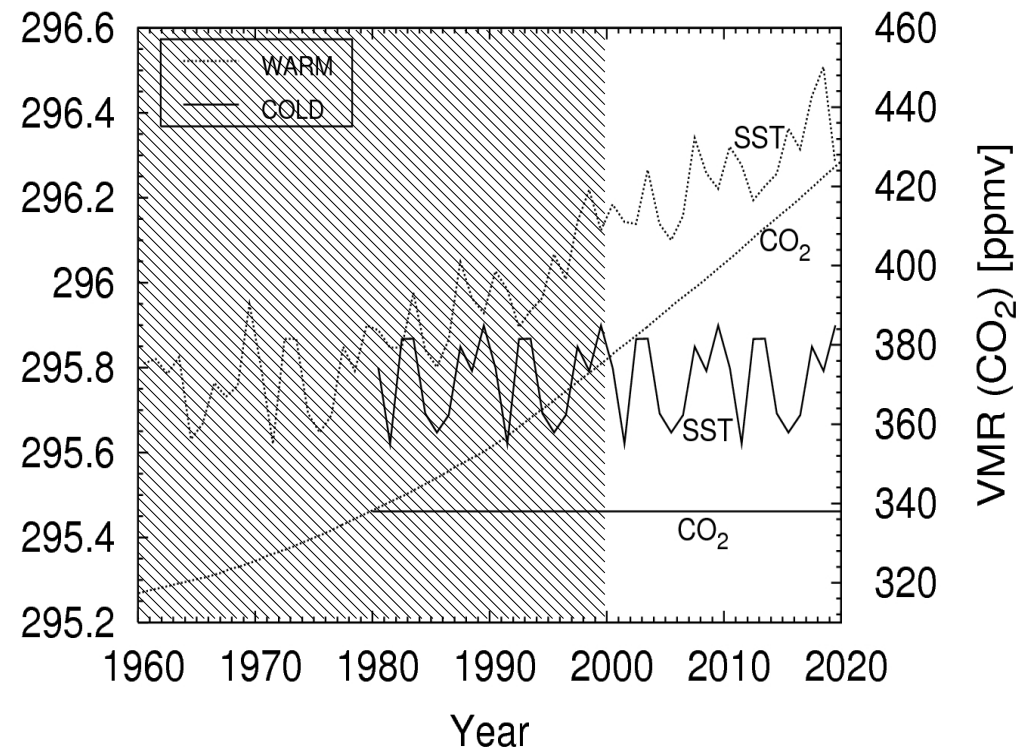
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Wärmeres Szenario (3x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase nach A1b in IPCC (2001)
- Temp. Meeresoberfläche ebenso

Kälteres Szenario (2x)

- Konzentration gut durchmischter Treibhausgase auf 1980
- Temp. Meeresoberfläche von 1970 bis 1979 zyklisch wiederholt

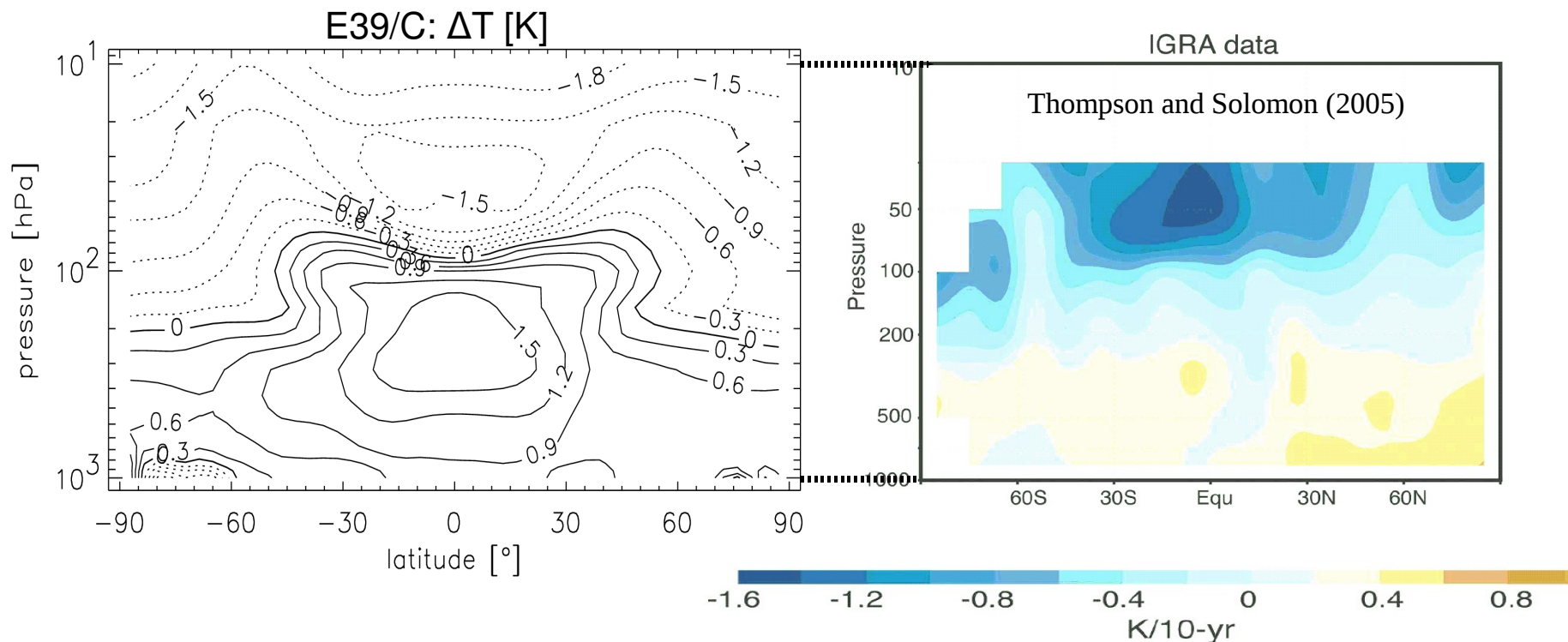


Zeige Anomalien *wärmer* minus *kälter* für Mittelungszeitraum 2000-2019

Robustheit der Anomalien: 3x*wärmer* gegen 2x*kälter*

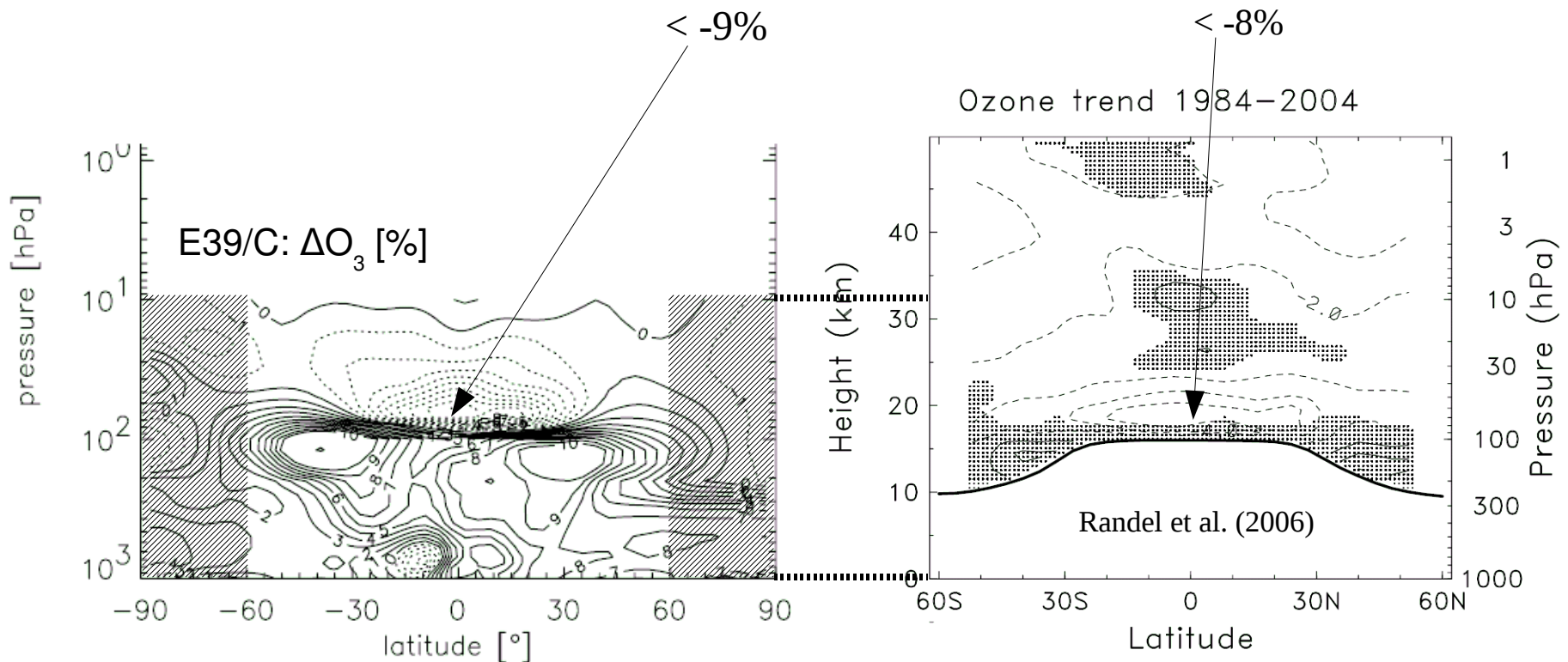
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

- Typisches Klimasignal der Temperatur
- Wie beobachtet: im wärmeren Klima Abkühlungsmaximum in unterer tropischer Stratosphäre



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Wie beobachtet: im wärmeren Klima Ozonschwund am größten in tropischer unterer Stratosphäre

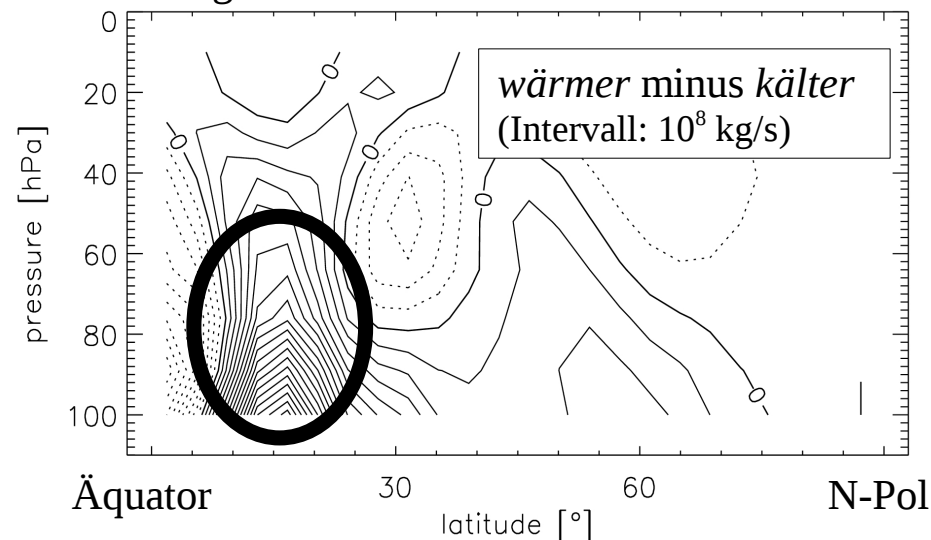
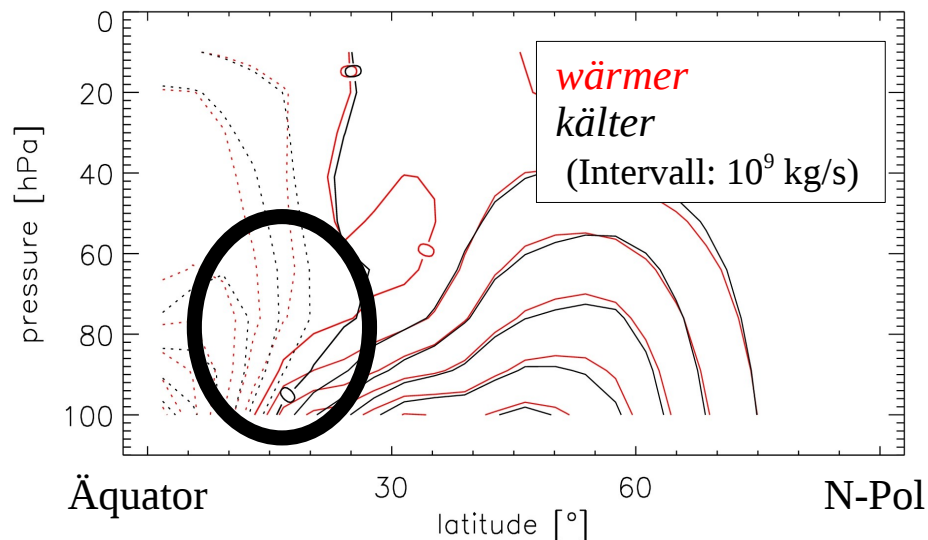


Veränderung: tropische Meeresoberfläche

E39/C: im wärmeren Klima anomale „BD Zelle“

- Jeweils in sommerlichen niedrigen Breiten
- Verstärktes tropisches Aufsteigen
- Verstärkter tropischer/subtropischer Transport richtung Pol
- Siehe Fomichev et al. (2007) und Rind et al. (2002)

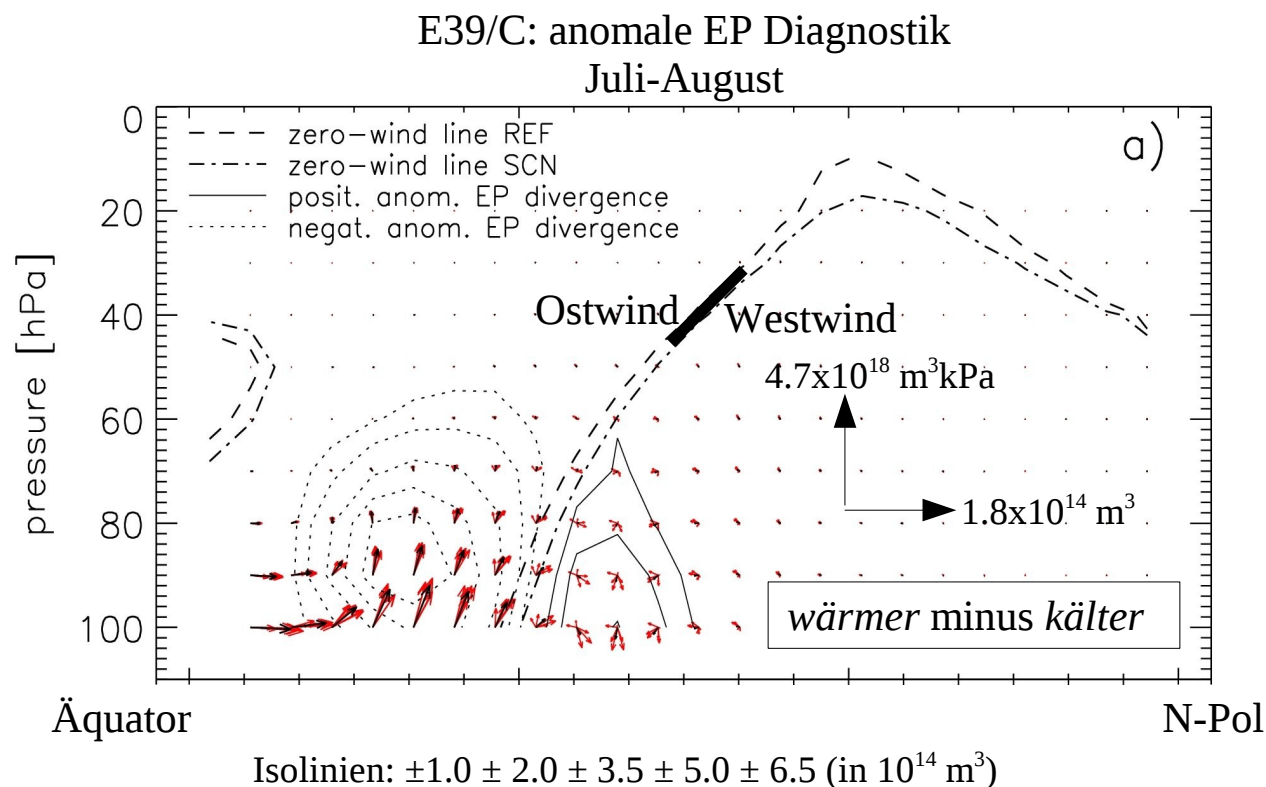
E39/C Stromfunktion: Juli-August



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Eliassen-Palm (EP) Diagnostik

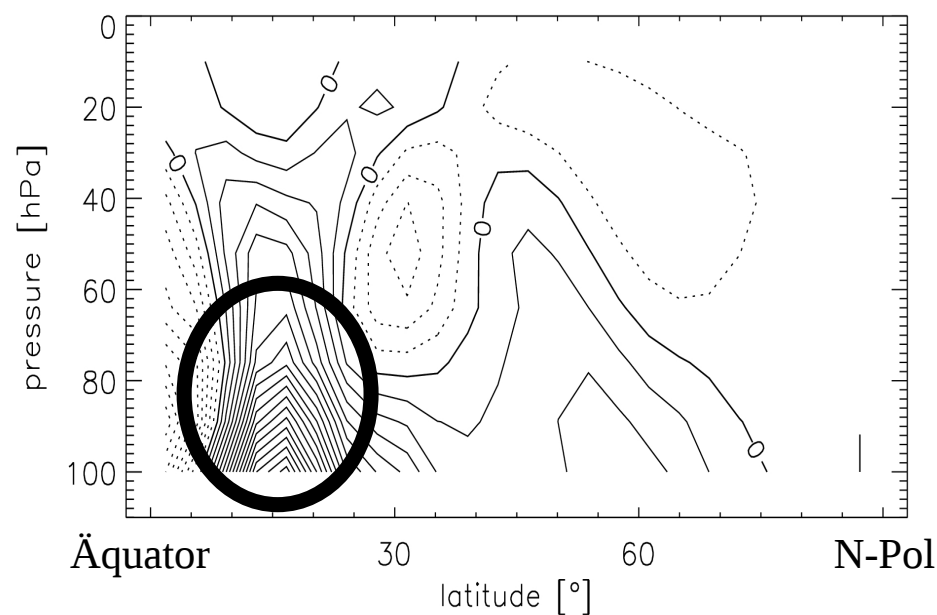
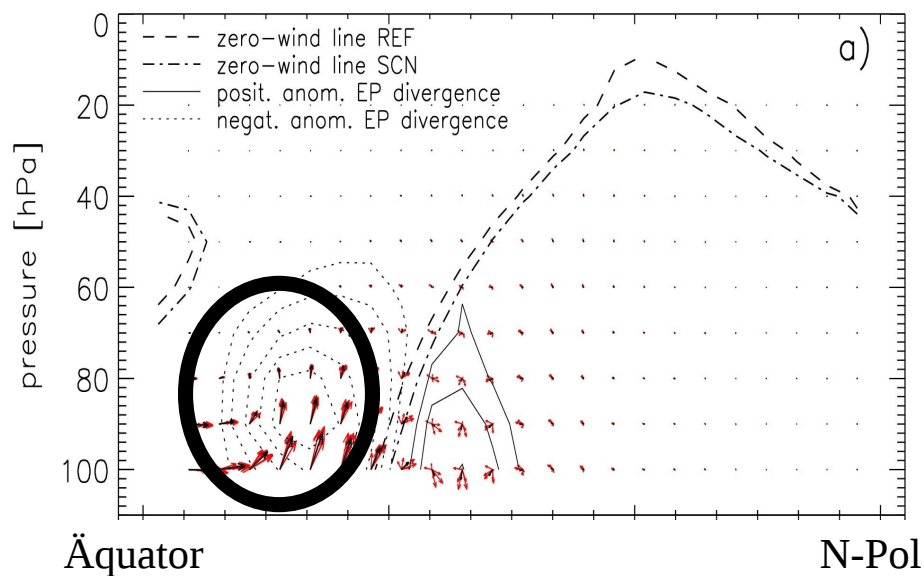
- EP Fluß: Stärke und Ausbreitungsrichtung von Wellenaktivität
- Divergenz des EP Flusses: Stärke der Wellendissipation



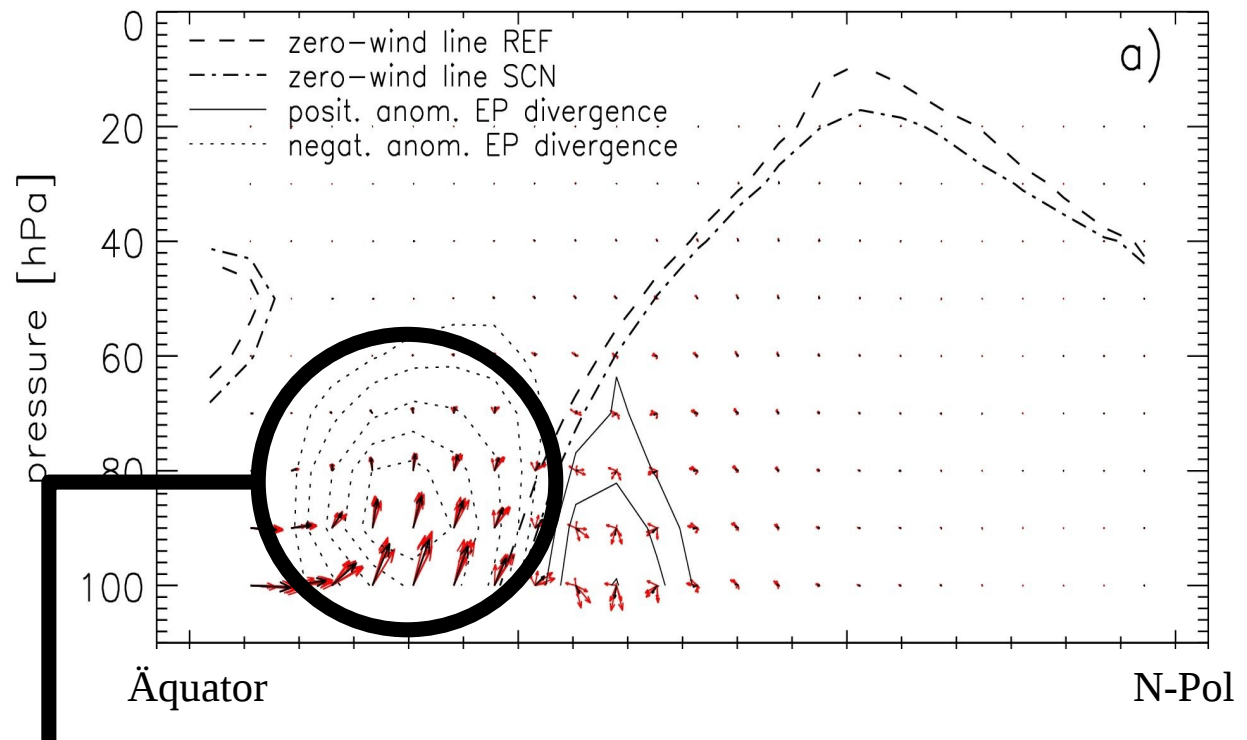
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Im wärmeren Klima

- Verstärkte Wellendissipation in niedrigen Breiten der unteren Stratosphäre
- → bewirkt anomale „BD Zelle“
- Siehe Fomichev et al. (2007) und Rind et al. (2002)



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

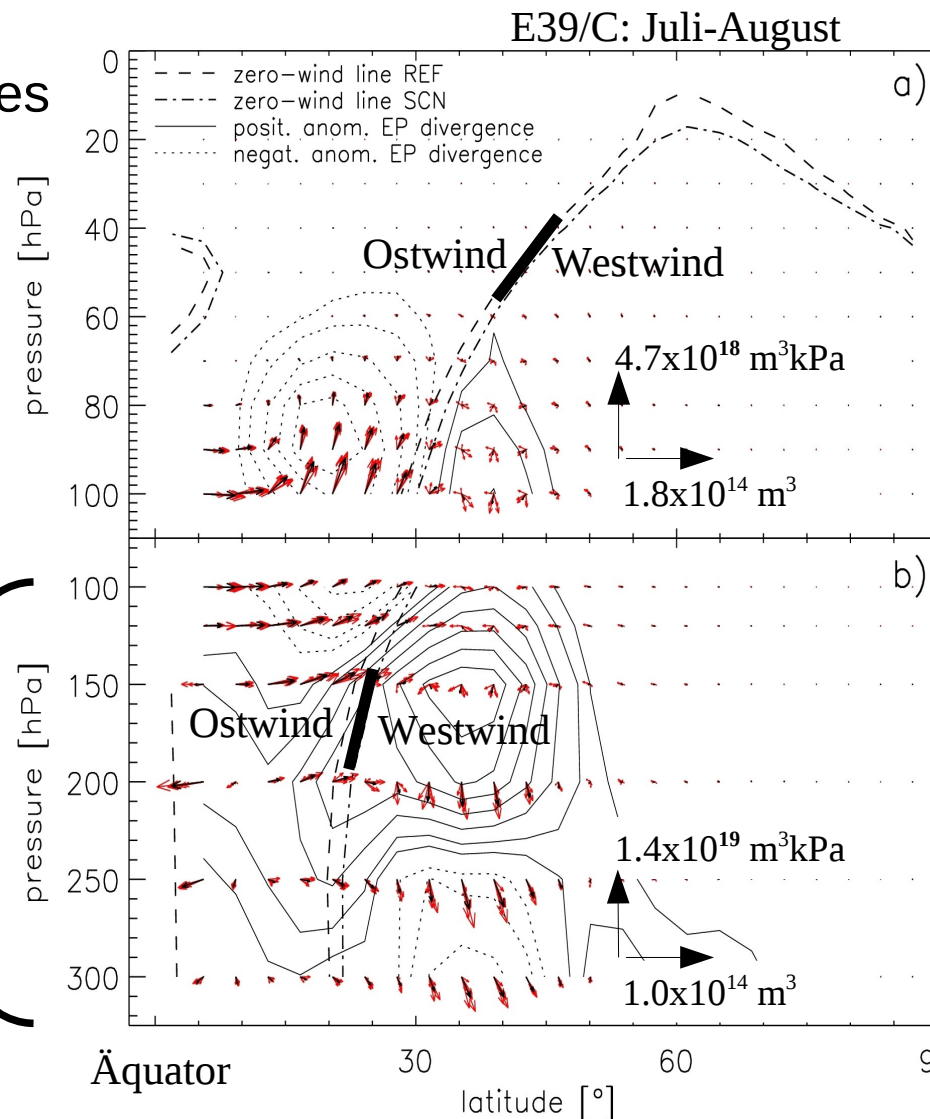
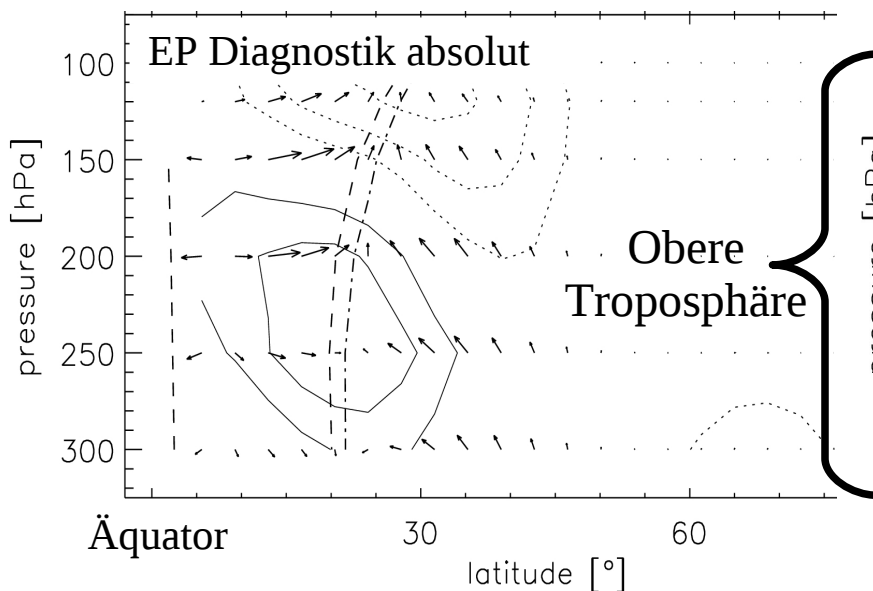


Ursache ???

Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Obere Troposphäre, zwei Regimes

- Lokal verstärkt: Tropen
- Geschwächt: Extratropen



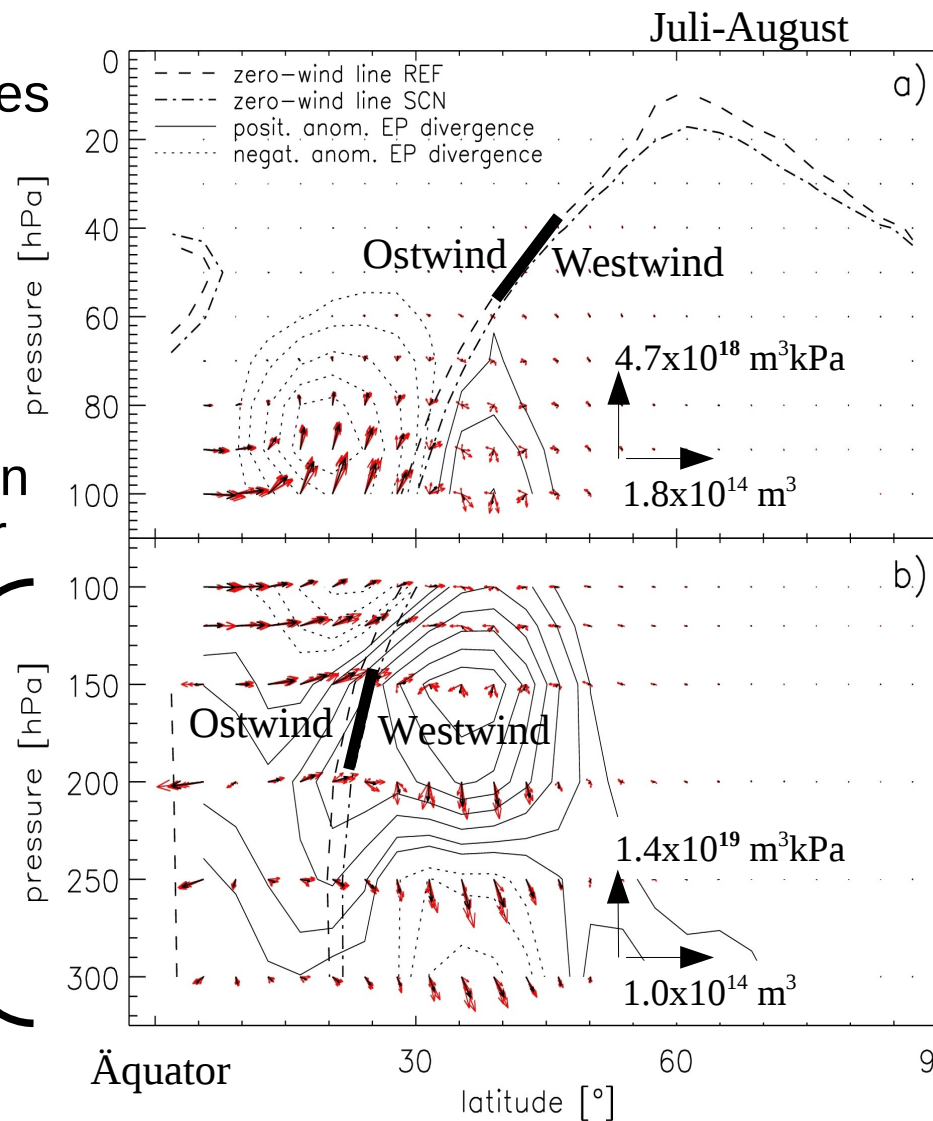
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Obere Troposphäre, zwei Regimes

- Lokal verstärkt: Tropen
- Geschwächt: Extratropen

→ Tropische Stratosphäre: Wellen produziert in tropischer oberer Troposphäre

Obere Troposphäre



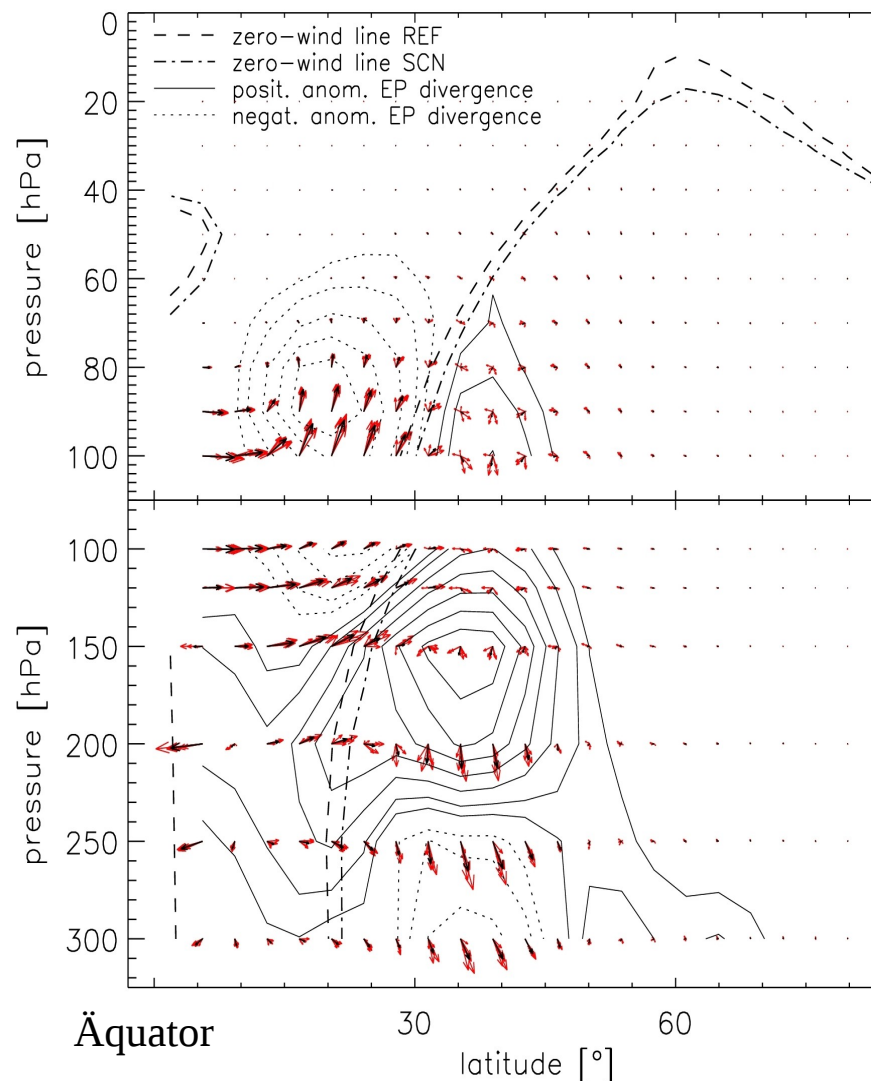
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Obere Troposphäre, zwei Regimes

- Lokal verstärkt: Tropen
- Geschwächt: Extratropen

→ Tropische Stratosphäre: Wellen produziert in tropischer oberer Troposphäre

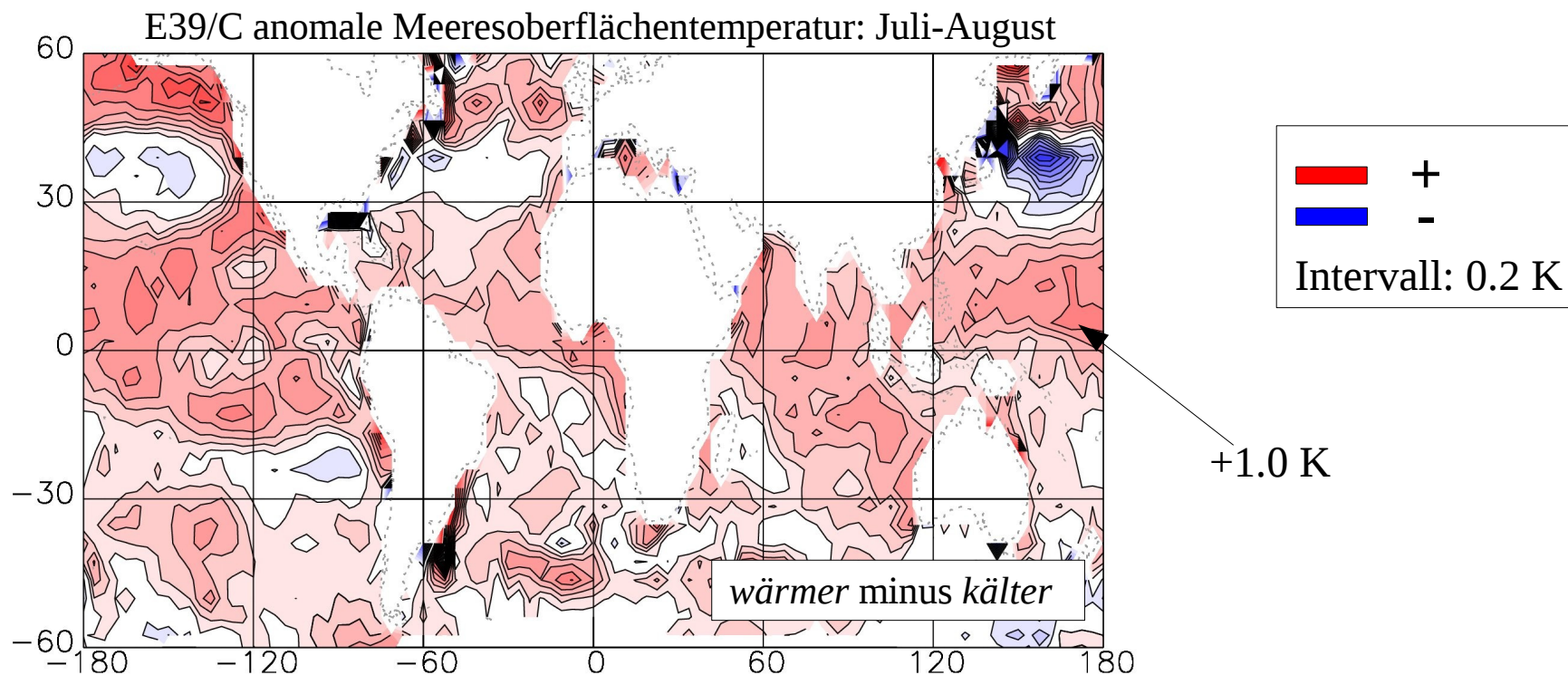
→ **Beteiligung tropischer hochreichender Konvektion?!**



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Kausalkette

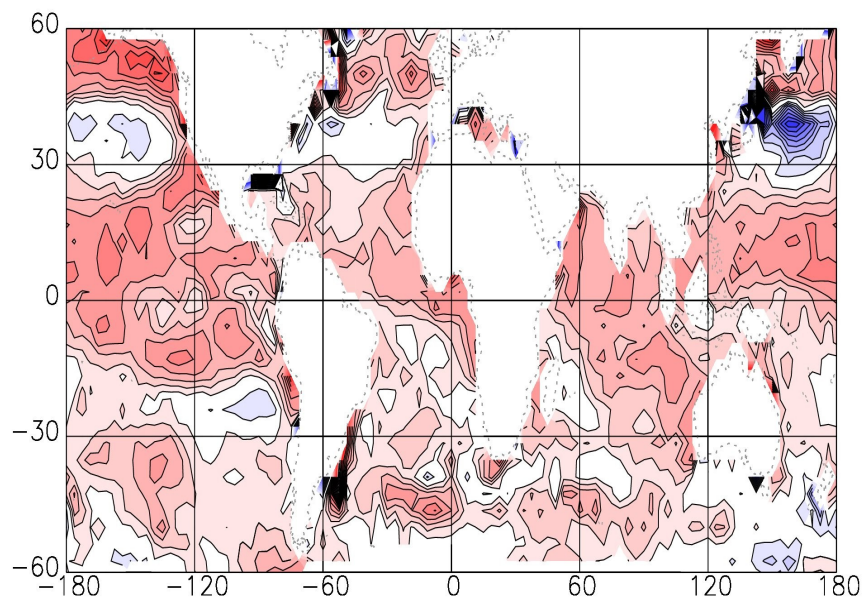
- Wärmere tropische Meeresoberfläche



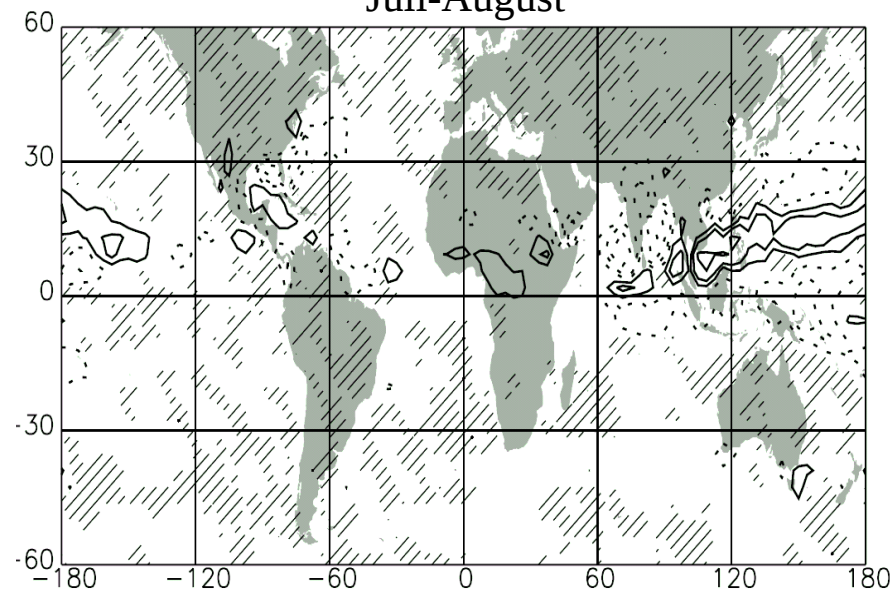
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → verstärkte hochreichende Konvektion



E39/C: Rate anomalen konvektiven Niederschlags
Juli-August



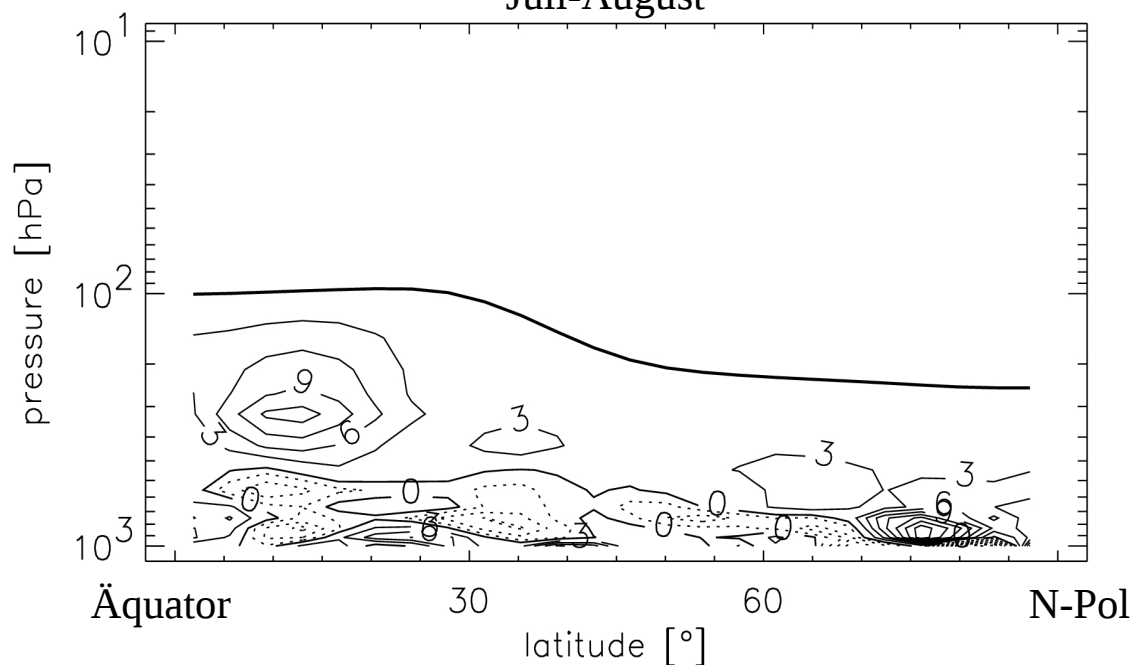
Isolinien: $\pm 1 \pm 4 \pm 9$ (in 2×10^{-9} m/s)

Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → verstärkte hochreichende Konvektion

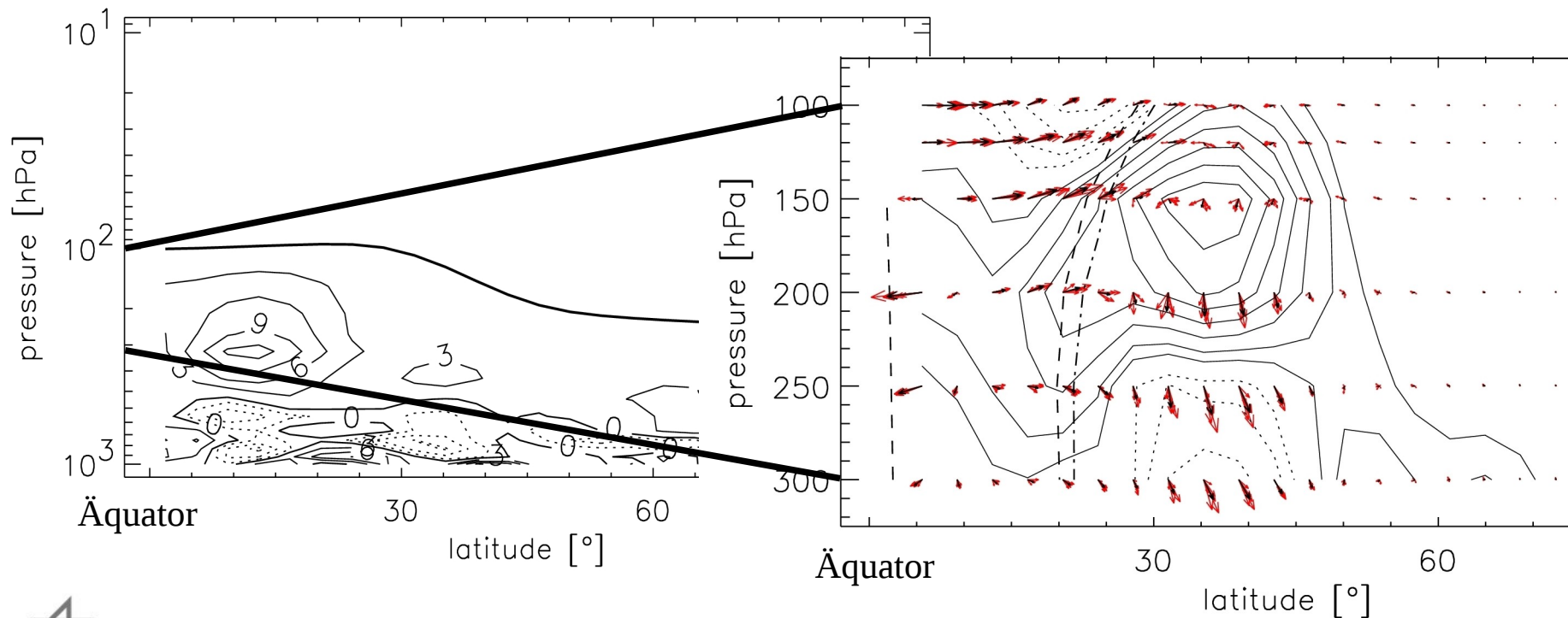
E39/C: anomaler Flüssigwassergehalt (in 7×10^{-6} kg/kg)
Juli-August



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Kausalkette

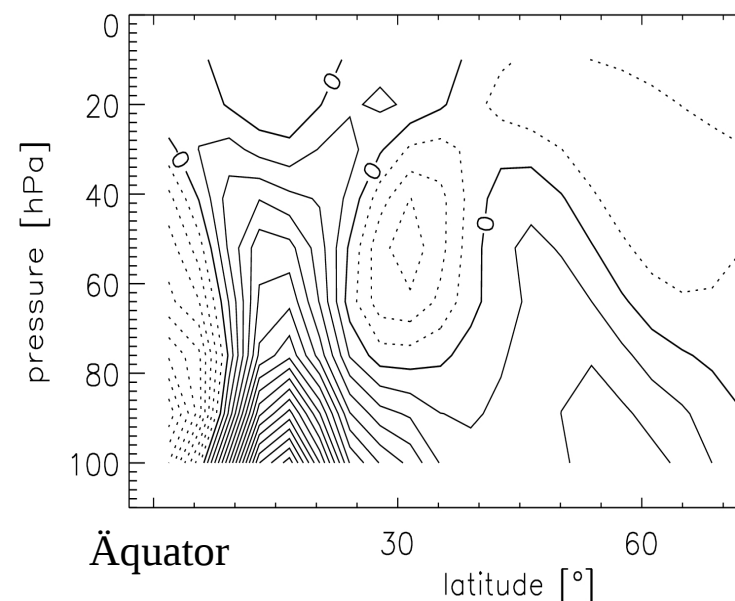
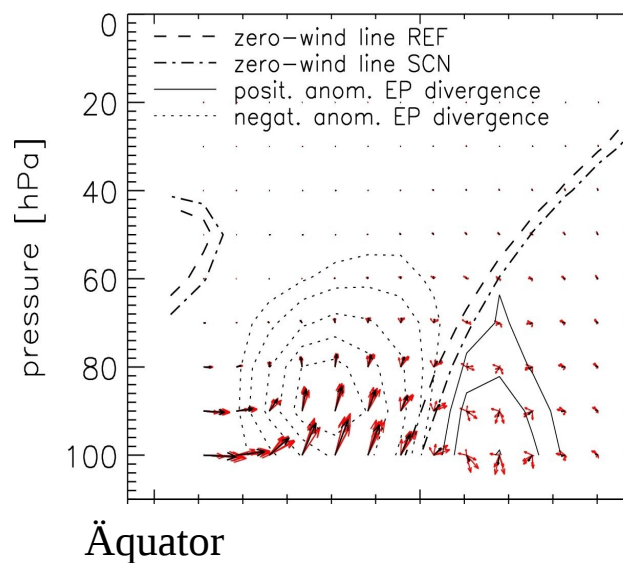
- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → verstärkte hochreichende Konvektion
- → verstärkte Anregung quasi-stationärer planetarer Wellen



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Kausalkette

- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → verstärkte hochreichende Konvektion
- → verstärkte Anregung quasi-stationärer planetarer Wellen
- Diese tragen Signal in tropische untere Stratosphäre
- Dort Dissipation → anomale „BD Zelle“

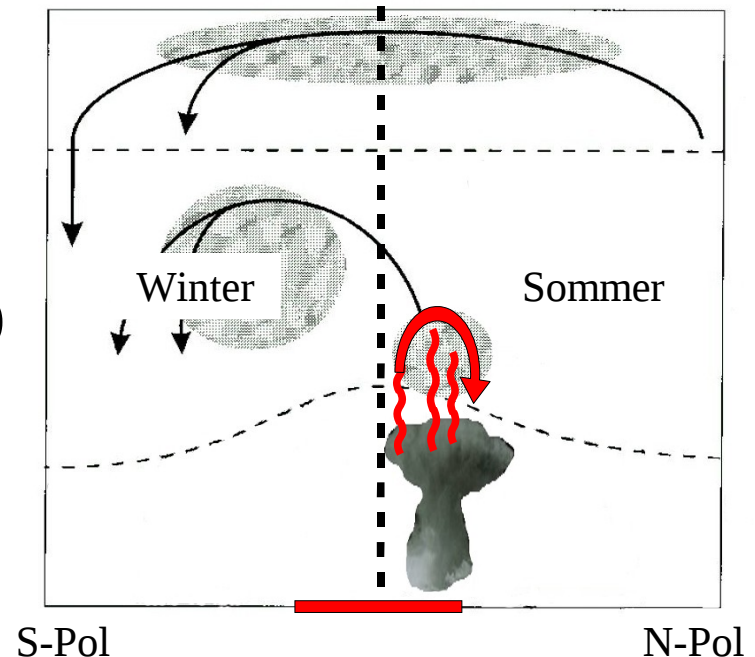


Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Kausalkette

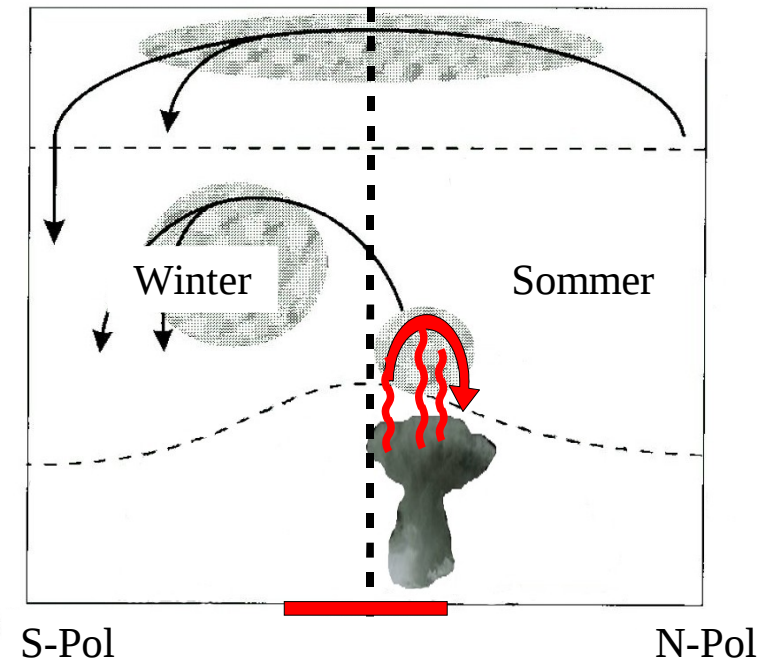
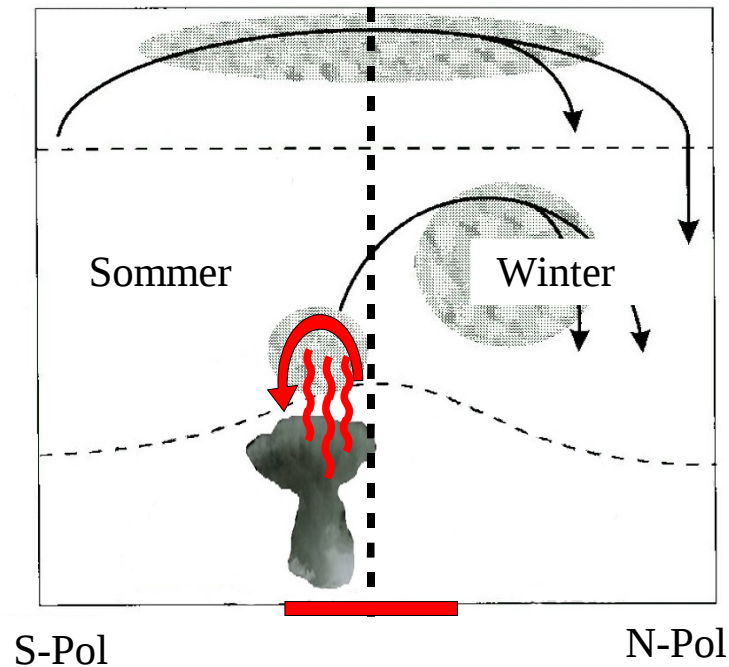
- Wärmere tropische Meeresoberfläche
- → verstärkte hochreichende Konvektion
- → verstärkte Anregung quasi-stationärer planetarer Wellen
- Diese tragen Signal in tropische untere Stratosphäre
- Dort Dissipation → anomale „BD Zelle“

Siehe Deckert and Dameris (2008a,b)



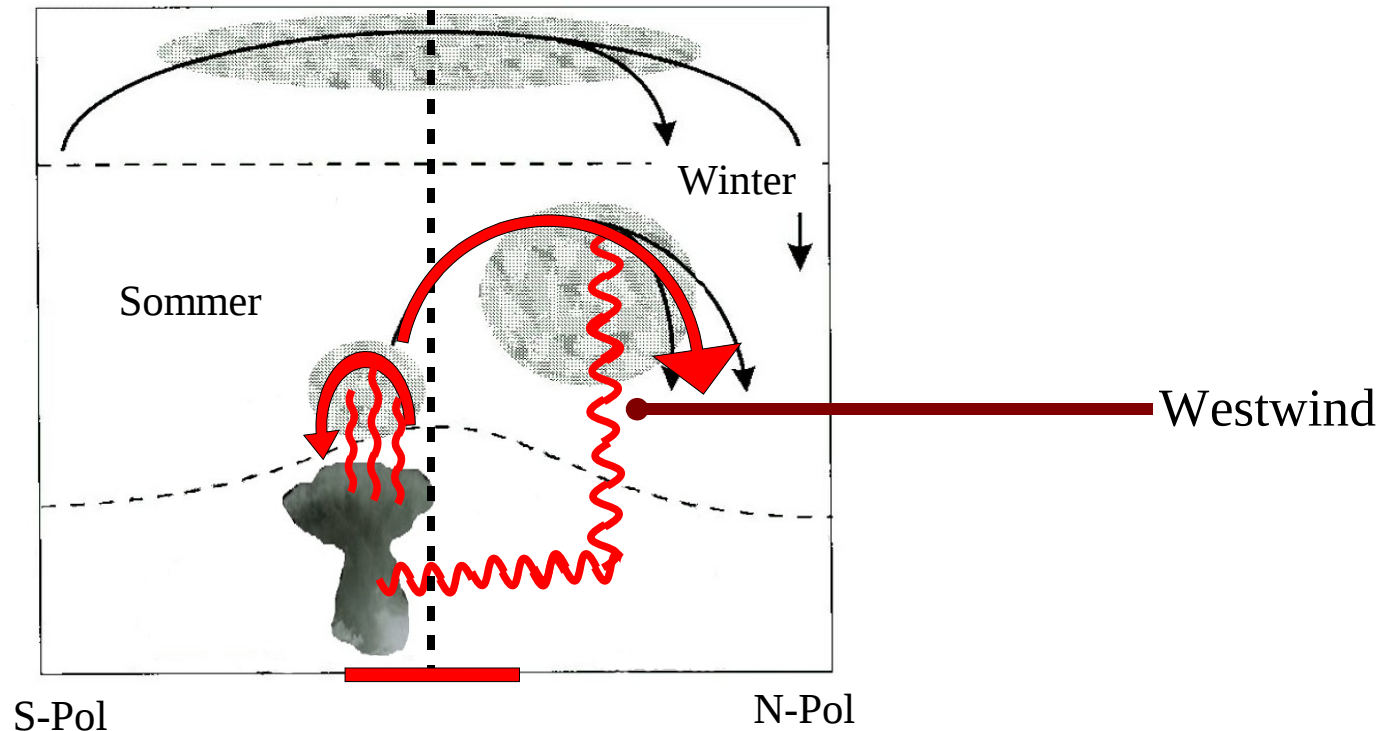
Veränderung: tropische Meeresoberfläche

Mechanismus in beiden sommerlichen Hemisphären → verstärktes tropisches Aufsteigen während acht Monaten pro Jahr



Zusätzlich „El-Niño-Effekt“? (z.B. Brönnimann et al., 2006)

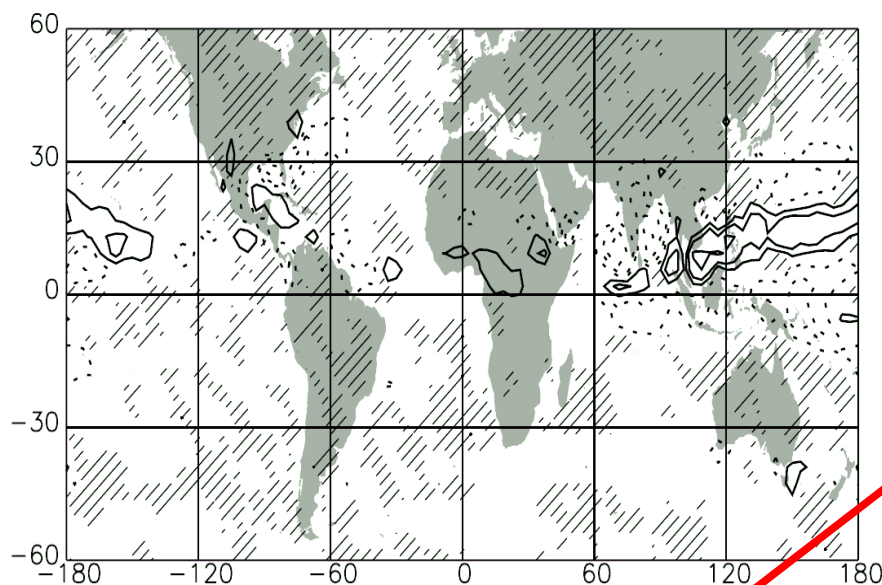
- Verstärkte Horizontalausbreitung externer planetarer Wellen
- Können winterliche Stratosphäre erreichen



Veränderung: tropische Meeresoberfläche

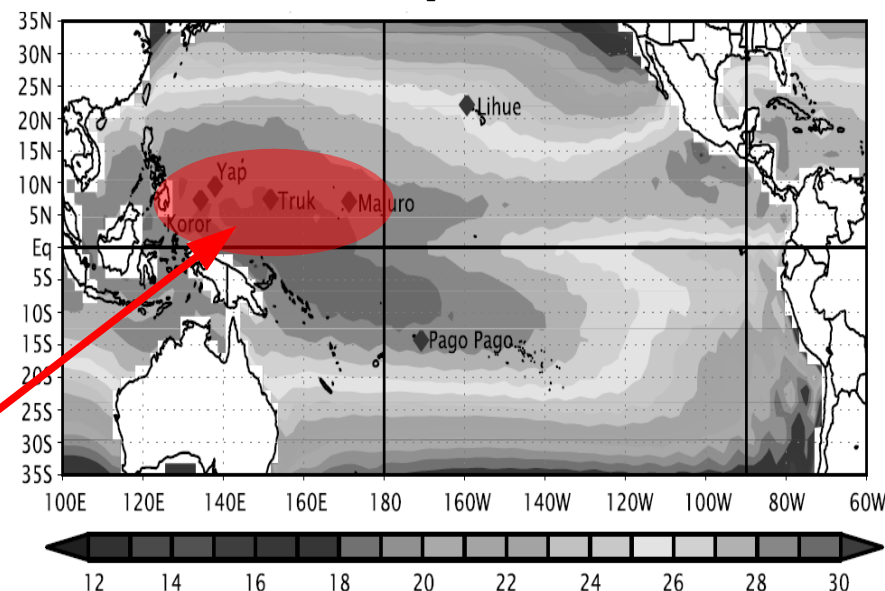
Unterstützung für Mechanismus durch Beobachtungsdaten

- Zeitliche Antikorrelation zwischen
Temperatur tropische Meeresoberfläche 120°E-180°E
Temperatur tropische Tropopause
- Details: Rosenlof and Reid, 2008



Größte Antikorrelation

NCEP Meeresoberflächentemperatur 1966-2005, Jahresmittel



Temperature (°C) Rosenlof and Reid (2008)





Zusammenfassung

- Messungen von T und O₃
 - Starke Abnahme in tropischer unterer Stratosphäre
 - Ursache gegenwärtig unklar
 - Aber: konsistent mit Hypothese verstärkten tropischen Aufsteigens
- Bisherige Modellstudien
 - Zukünftig verstärktes tropisches Aufsteigen
 - Mechanismus unklar
- Mechanismus: wärmere tropische Meeresoberfläche verstärkt
 - ... tropische hochreichende Konvektion
 - ... konvektive Produktion planetarer Wellen
 - ... Dissipation dieser Wellen in tropischer unterer Stratosphäre
 - ... tropisches Aufsteigen



Vielen Dank an Martin Dameris, Sigrun Matthes, und die gesamte ECHAM-Gruppe!





Literatur

N. Butchart et al. (2006), *Clim. Dynam.* 27, 727–741.

R. Deckert and M. Dameris (2008a), *Geophys. Res. Lett.* 35, L10813.

R. Deckert and M. Dameris (2008b), *Science* 322, 5898.

X. Jiang et al. (2007), *J. Atmos. Sci.* 64, 2751–2755.

M. McIntyre (1998), *Progr. Theoret. Phys. Suppl.* 130, 137–166.

R. Plumb (2002), *J. Met. Soc. Japan* 80, 793-809.

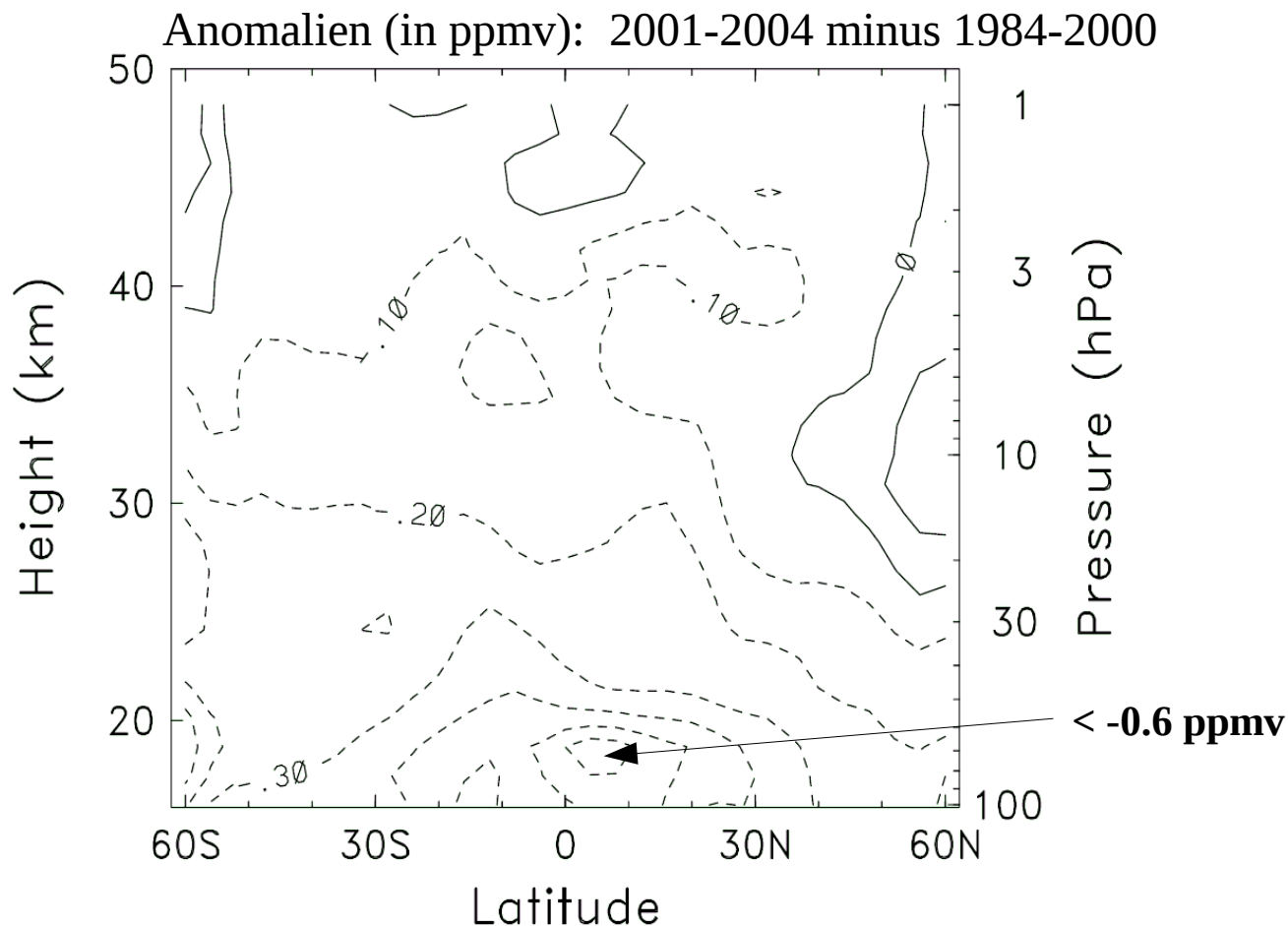
W. Randel et al. (2006), *J. Geophys. Res.* 111, D12312.

K. Rosenlof and G. Reid (2008), *J. Geophys. Res.* 113, D06107.

D. Thompson and S. Solomon (2005), *J. Climate* 18, 4785–4795.

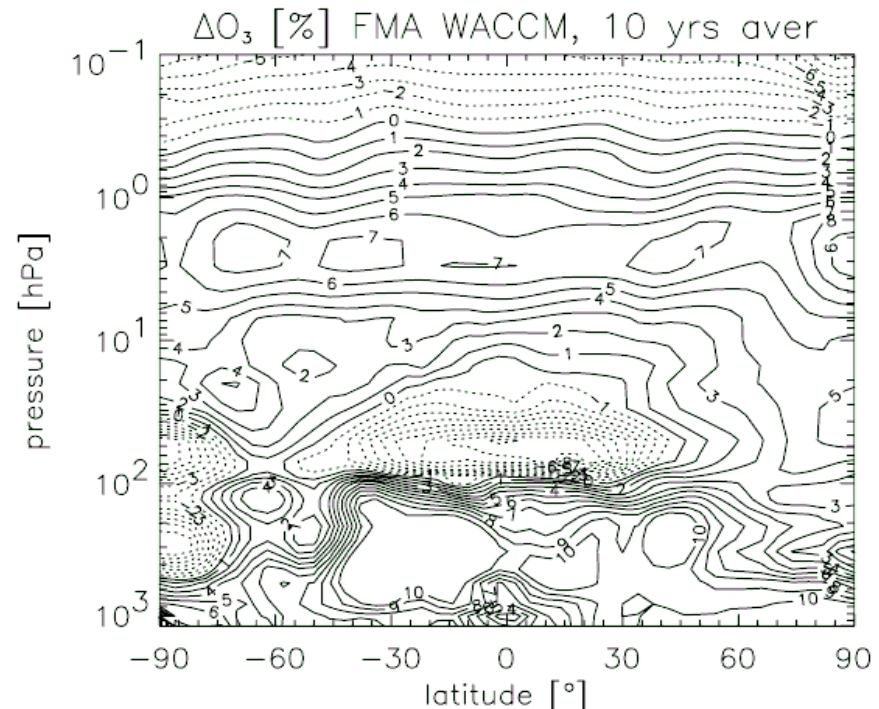
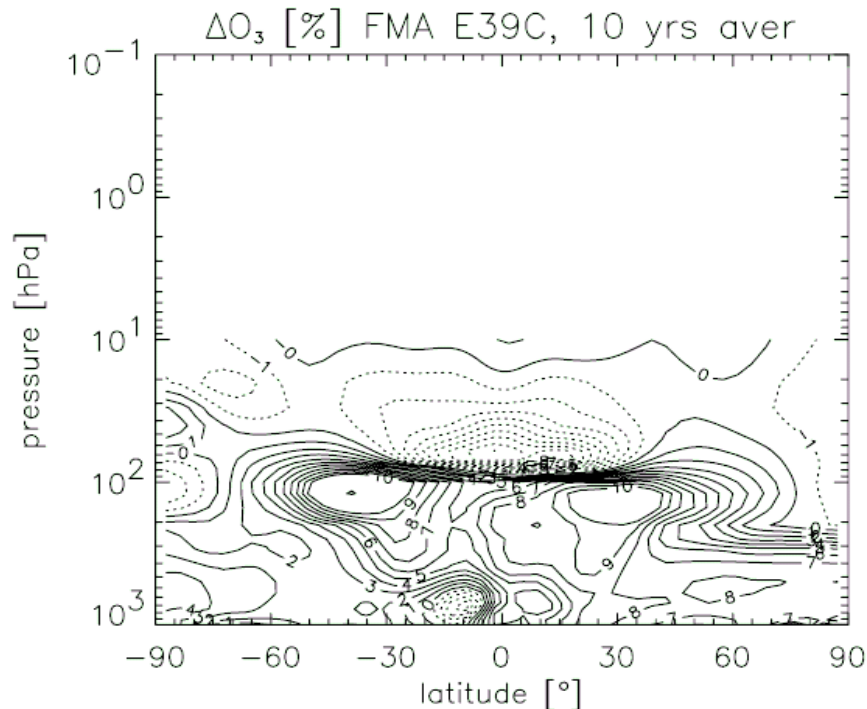
Veränderung: Indizien

Wasserdampf: Satellitendaten (HALOE)



Veränderung: Meeresoberflächentemperatur

- Ozonsignal: im wärmeren Klima maximaler Rückgang in tropischer unterer Stratosphäre
 - Entspricht Beobachtungen
 - Gegensätzlich zu verlangsamter Gasphasenchemie
 - Strahlungseffekt? Nein! → dynamischer Effekt?



Verstärktes Aufsteigen: Ursache

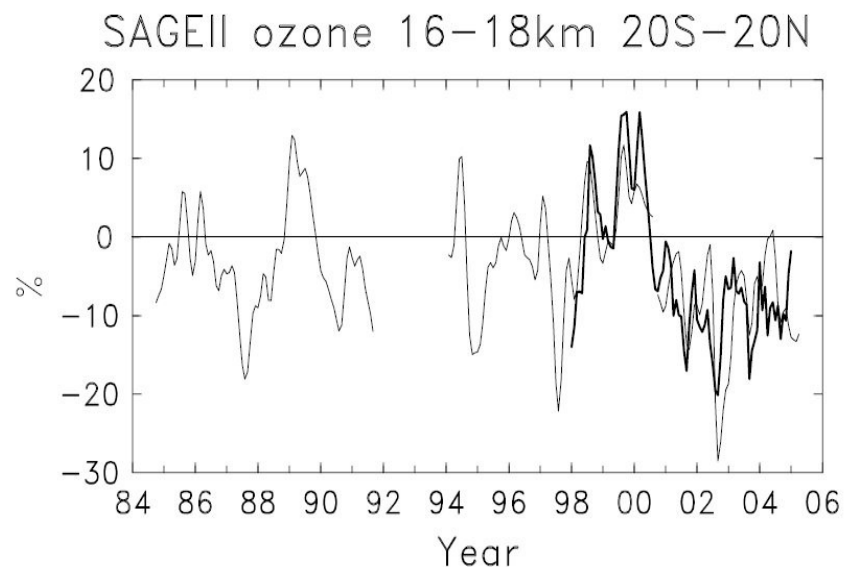
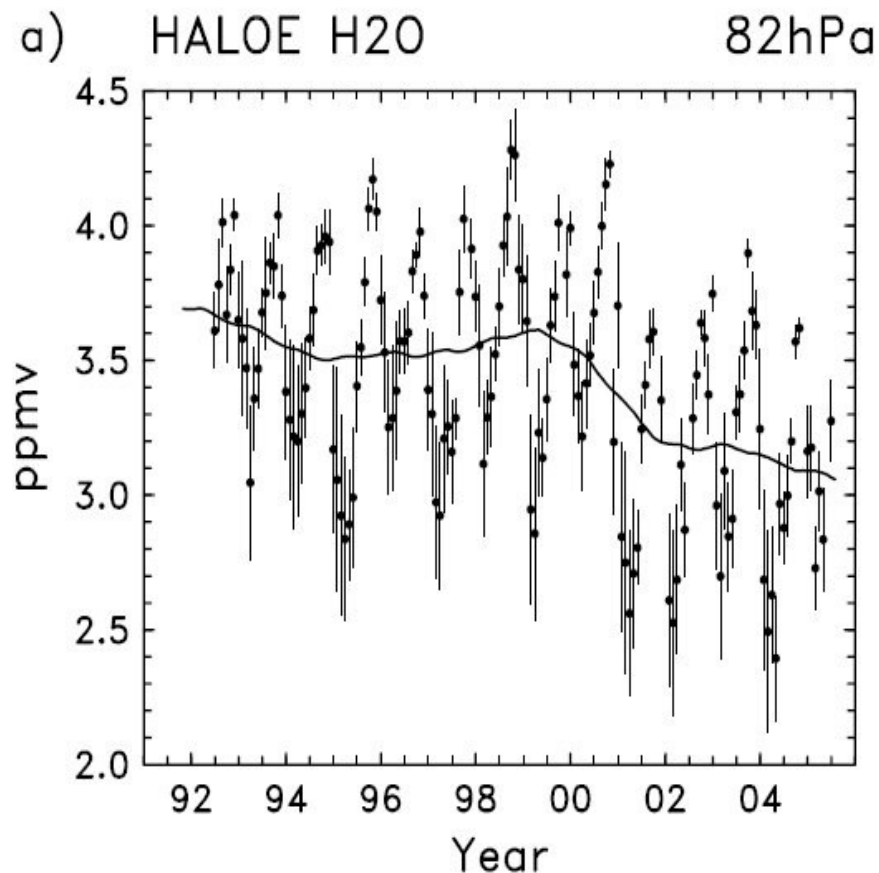
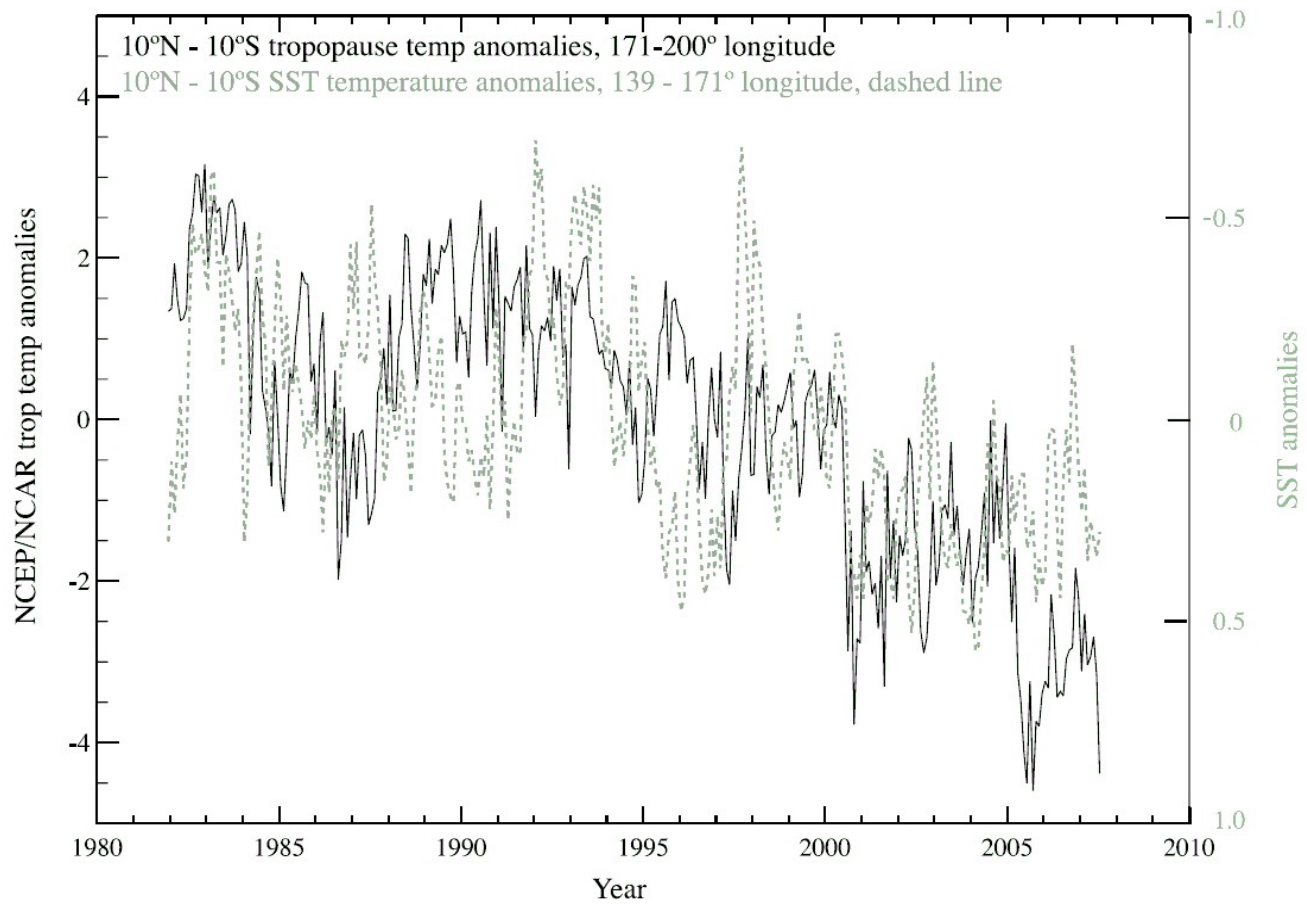
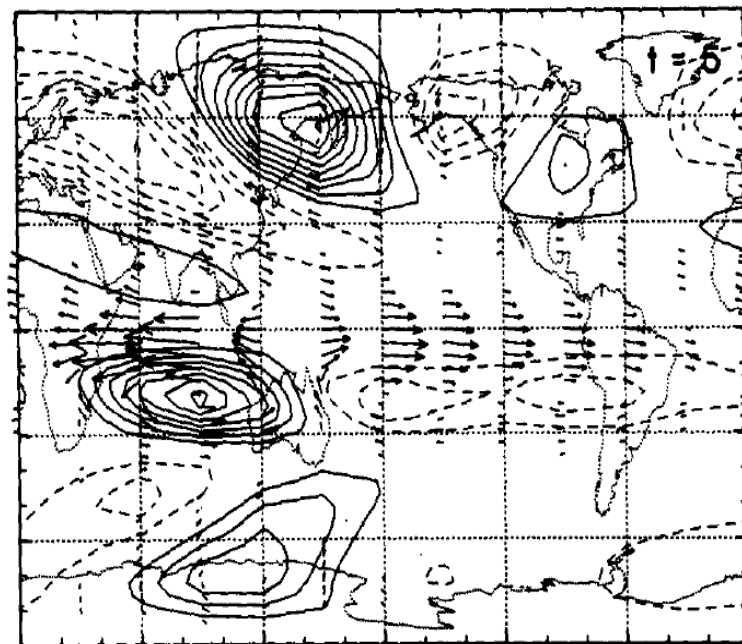
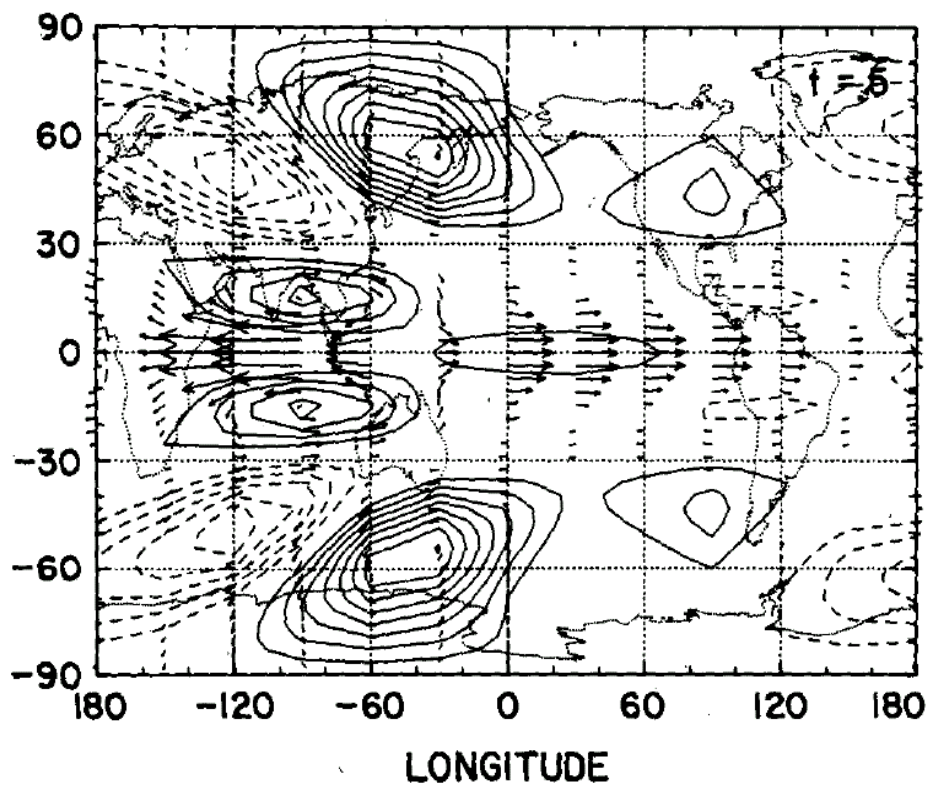


Figure 7. Deseasonalized zonal mean ozone anomalies over 16–18 km and 20°N–20°S (thin lines), derived from SAGE II zonal mean data. Corresponding anomalies calculated from an average of 7 tropical ozonesonde stations from SHADOZ (thick line), covering just 1998–2004.

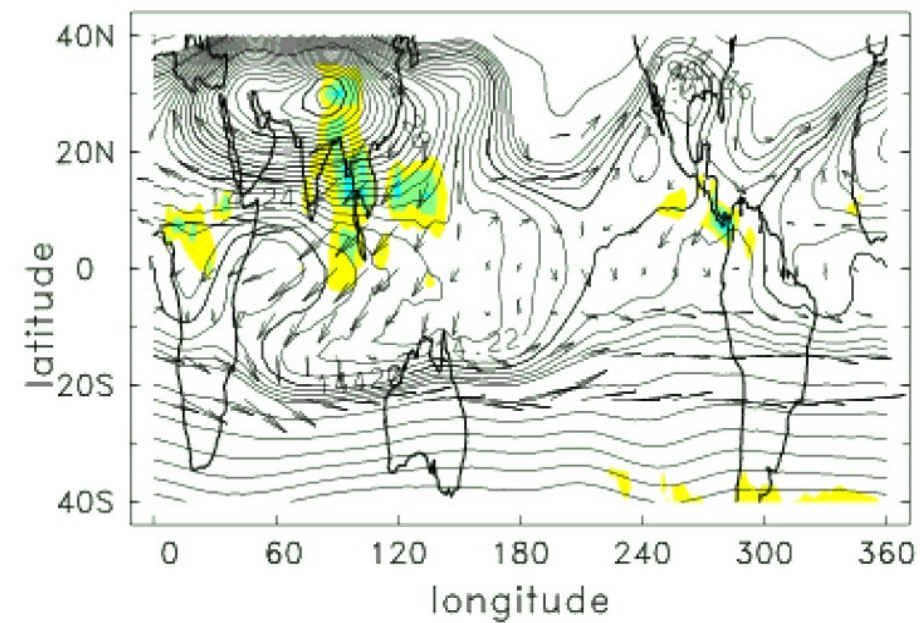




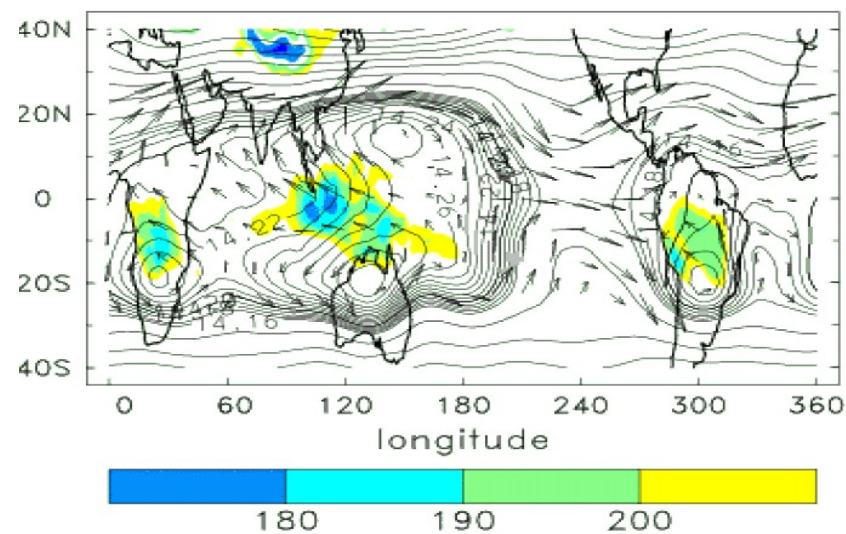




ERA40 JJA



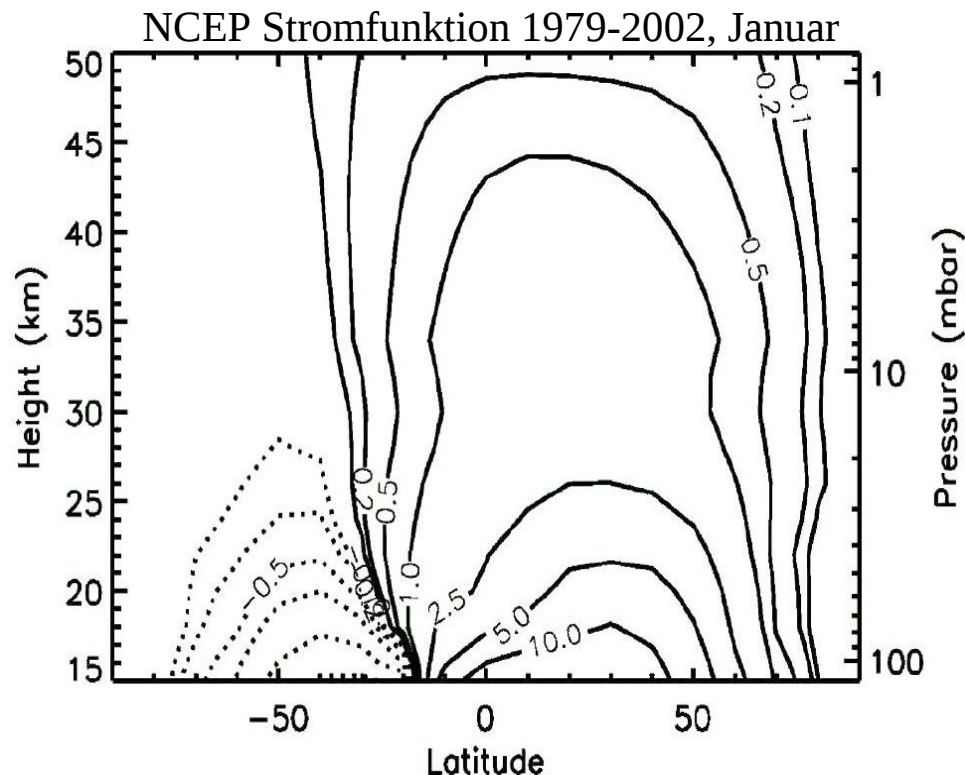
ERA40 DJF



Massentransport: Erläuterung

BD Zirkulation = Lagranger Transport

- Kein Eulersches Geschwindigkeitsfeld
- Unterschied Eulersch-Lagrange: Stokes-Drift



Eulersche Geschwindigkeit, Januar

